

MANUAL
DE GESTIÓN
DE LOS
RESIDUOS
ESPECIALES
DE LA UB



UNIVERSITAT DE BARCELONA

U

B

**MANUAL DE GESTIÓN
DE LOS RESIDUOS ESPECIALES
DE LA UNIVERSIDAD DE
BARCELONA**

MANUAL DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS ESPECIALES DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

Natalia Díaz Peñalver, Facultat de Geologia.
Universitat de Barcelona

Albert Moyano Baldoire, *Dirección y Coordinación.*
Facultat de Química y OSSMA. Universitat de Barcelona

Publicacions



UNIVERSITAT DE BARCELONA



BIBLIOTECA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA. Dades catalogràfiques

Díaz Peñalver, Natalia

Manual de gestión de los residuos especiales de la Universidad de Barcelona

Bibliografía

ISBN: 84-475-2487-6

I. Moyano Baldoire, Albert, dir.

1. Universitat de Barcelona 2. Tractament de residus 3. Residus perillosos

© PUBLICACIONS DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA, 2000

Gran Via, 585; 08007 Barcelona; Tel. 93 404 54 42; Fax 93 403 54 46; sipu-sec@org.ub.es;

<http://www.ub.es/spub/sipub.htm>

Diseño de la cubierta: Cesca Simón

Diseño de la maqueta interior: Nuria Ferrer

Impresión: Gráficas Rey, S.L.

Depósito legal: B.-50.841-2000

ISBN: 84-475-2487-6

Todos los derechos de esta publicación (incluido el diseño de la cubierta)

PUBLICACIONS DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

Impreso en España/Printed in Spain

Imprès en paper ecològic



Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada, transmitida o utilizada por ningún tipo de medio o sistema, sin la autorización previa por escrito del editor.

ÍNDICE

PRÓLOGO	9
1. DEFINICIONES Y PRINCIPIOS BÁSICOS	11
1.1. Introducción	11
1.2. Clasificación de los residuos. Definiciones	12
1.3. Características de peligrosidad de un residuo	14
1.4. Principios básicos en la gestión de residuos	17
1.5. Residuos generados en la UB	20
Bibliografía	22
2. NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS ESPECIALES	23
2.1. Introducción	23
2.2. Identificación y caracterización de los residuos	24
2.3. Equipos de protección individual (EPI's)	25
2.4. Condiciones generales de seguridad y salud en los lugares y espacios de trabajo	26
2.4.1. Condiciones generales de seguridad	26
2.4.2. Señalización de seguridad y salud	27
2.5. Manipulación	28
2.5.1 Manipulación de productos	28
2.5.2 Manipulación de bidones y otros	29
2.6. Almacenaje	29
2.7. Medidas generales de actuación	30
2.8. Medidas específicas	31
2.8.1. Accidentes personales. Primeros auxilios	31
2.8.2. Accidentes por derrames de productos	32
2.9. Formación e información	33
2.10. Normas básicas de actuación	34
Bibliografía	34
3. GESTIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS	35
3.1. Introducción	35
3.2. Clasificación y gestión de los residuos químicos	36
3.3. Información adicional	37
3.4. Propiedades ideales de la técnica de destrucción	38
3.4.1. Información aportada en cada procedimiento de destrucción	38
3.5. Procedimientos de eliminación de los residuos químicos en el mismo laboratorio	39
3.5.1. Ácidos inorgánicos y orgánicos y sus disoluciones	39

3.5.2. Bases inorgánicas, sales básicas y sus disoluciones	40
3.5.3. Hidrocarburos	40
3.5.4. Disolventes halogenados	41
3.5.5. Hidrocarburos aromáticos policíclicos	41
3.5.6. Carburo de calcio	44
3.5.7. Compuestos orgánicos halogenados	45
3.5.8. Alcoholes y fenoles.....	48
3.5.9. Éteres.....	48
3.5.10. Haloéteres	49
3.5.11. Aminas aromáticas primarias (procedimiento genérico).....	50
3.5.12. Aminas aromáticas	51
3.5.12.1. Bromuro de etidio	53
3.5.13. 2-Metilaziridina	53
3.5.14. Azidas	54
3.5.15. Hidrazinas.....	55
3.5.16. Amiduro de sodio	57
3.5.17. Cianuros y bromuro de cianógeno	58
3.5.18. Nitrilos orgánicos	60
3.5.19. Mercaptanos y sulfuros inorgánicos	60
3.5.20. Disulfuro de carbono.....	62
3.5.21. Sulfato de dimetilo y compuestos relacionados.....	62
3.5.22. Aldehídos y cetonas	64
3.5.23. Carbonilos metálicos.....	65
3.5.24. Haluros de ácido y anhídridos.....	66
3.5.25. Haluros metálicos reactivos con agua.....	66
3.5.26. Haluros y haluros de ácido no metálicos.....	66
3.5.27. Ésteres del ácido carbámico	67
3.5.28. €propiolactona	68
3.5.29. Carboxamidas.....	68
3.5.30. N-nitroso compuestos: nitrosamidas	68
3.5.31. N-nitroso compuestos: nitrosaminas	72
3.5.32. Azo y azoxi compuestos y tetracenos	75
3.5.33. Peróxidos	76
3.5.34. Trifluoruro de boro y fluoruros inorgánicos	77
3.5.35. Clorometilsilanos.....	78
3.5.36. Fósforo y pentóxido de fósforo	78
3.5.37. Nitrocompuestos	79
3.5.38. 4-Nitrobifenilo	79
3.5.39. Ácido pícrico	80
3.5.40. Hidruros complejos metálicos	81
3.5.41. Hidruros de elementos no metálicos	82
3.5.42. Metales alcalinos	82
3.5.43. Cromo	83
3.5.44. Compuestos organometálicos sensibles al aire o al agua	84
3.5.45. Compuestos organomercúricos.....	84
3.5.46. Tetraóxido de osmio	85
3.5.47. Compuestos de arsénico, plomo, selenio y talio	85
3.5.48. Compuestos de bario	86
3.5.49. Alquilos y arilos no metálicos	86
Bibliografía	87
4. GESTIÓN DE RESIDUOS SANITARIOS	89
4.1. Introducción	89

4.2. Gestión de residuos sanitarios	90
4.3. Residuos sanitarios no específicos (Grupo II)	94
4.4. Residuos sanitarios específicos (Grupo III)	95
4.5. Residuos citotóxicos (Grupo IV)	99
4.5.1. Clasificación de los agentes cancerígenos	100
4.6. Agentes biológicos y niveles de bioseguridad	101
4.6.1. Clasificación de los agentes biológicos	101
4.6.2. Medidas de contención	102
4.6.3. Medidas higiénicas de prevención	103
Bibliografía	104
 5. GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS	 107
5.1. Introducción	107
5.2. Conceptos básicos	108
5.3. Definiciones de material radiactivo y de desclasificación	109
5.4. Riesgos y normas de protección tanto para los generadores de residuos	110
5.4.1. Vías de recepción de dosis	111
5.4.2. Criterios de protección radiológica	112
5.5. Gestión en origen de los residuos radiactivos. Vías de desclasificación	114
5.5.1. Gestión de los residuos líquidos	114
5.5.1.1. Líquidos acuosos	115
5.5.1.2. Líquidos orgánicos	116
5.5.2. Gestión de los residuos sólidos	117
5.5.3. Criterios generales de gestión de los residuos radiactivos	119
5.6. Gestión en España de los residuos radiactivos de media y baja actividad	122
Bibliografía	123
 6. GESTIÓN DE RESIDUOS PROCEDENTES DE ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN	 125
6.1. Introducción	125
6.2. Gestión de residuos	125
6.3. Riesgo biológico en los laboratorios con animales de experimentación	126
6.4. Medidas preventivas	126
6.4.1. Niveles de bioseguridad	127
Bibliografía	129
 7. GESTIÓN DE RESIDUOS DE LABORATORIOS FOTOGRÁFICOS	 131
7.1. Introducción	131
7.2. Proceso fotográfico	131
7.3. Riesgos debidos a la exposición a los productos químicos empleados	133
7.4. Medidas preventivas	134
7.5. Gestión de los residuos específicos de los laboratorios fotográficos	134
Bibliografía	136
 8. LEGISLACIÓN	 137
8.1. Legislación general en materia de seguridad i salud en el trabajo	137
8.2. Legislación específica	139
8.2.1. Señalización de seguridad y salud en el trabajo	139
8.2.2. Pantallas de visualización	140
8.2.3. Utilización de equipos de trabajo	140
8.2.4. Equipos de protección individual (EPIs)	140
8.2.5. Enfermedades profesionales	140
8.2.6. Incendios	141
8.2.7. Aparatos, máquinas e instalaciones	141

8.2.8. Electricidad	141
8.2.9. Actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas	142
8.3. Legislación general sobre seguridad con agentes químicos, físicos y biológicos (Substancias y preparados peligrosos)	142
8.3.1. Agentes químicos, físicos y biológicos	143
8.3.2. Agentes biológicos	144
8.3.3. Agentes cancerígenos	144
8.3.4. Plomo	144
8.3.5. Amianto	145
8.3.6. Cloruro de vinilo	145
8.3.7. Benceno	145
8.3.8. PCB's y PCT's	146
8.3.9. Radiaciones ionizantes (Protección radiológica)	146
8.3.10. Ruido	146
8.4. Legislación general sobre medio ambiente	146
8.4.1. Legislación sobre residuos específicos	148
8.4.1.1. Residuos tóxicos y peligrosos	148
Amianto	149
Cadmio	149
Cloruros alcalinos	149
Hexaclorociclohexano	150
Policlorobifenilos (PCB) y policloroterfenilos (PCT)	150
Aceites usados	150
Pilas y acumuladores	150
8.4.1.2. Residuos sanitarios y anatómicos	150
8.4.1.3. Residuos radiactivos	151

PRÓLOGO

Actualmente existe una consciencia social que propugna la defensa del medio ambiente, de forma que el posicionamiento de una persona, una institución o una empresa delante de los temas ambientales es cada vez más un valor utilizado para juzgar su comportamiento. Por otro lado, para cumplir las exigencias legales es necesaria la implantación de un modelo de gestión planificada y organizada de los residuos. Esta motivación para introducir o mejorar la gestión de los residuos no ha de ser únicamente el cumplimiento de la legislación vigente.

También existe una responsabilidad de las empresas o de las instituciones respecto al medio ambiente, es decir, éstas deben realizar sus actividades de forma que no ocasionen daños a su entorno.

La implantación de una gestión segura de los residuos hace que, en la mayoría de los casos, se deban analizar los procedimientos de trabajo y el comportamiento de las personas. Como consecuencia de este análisis se pueden producir mejoras en los rendimientos, en la seguridad de las personas, en los niveles de calidad; también puede haber una disminución de los costos de operación, así como una disminución del volumen y de la peligrosidad de los residuos generados si se aplican criterios de minimización, reducción, etc.

Por otro lado, cabe recordar que el objetivo básico de la Universidad como institución es la generación y la transmisión de conocimientos al más alto nivel. Por este motivo no se puede olvidar el carácter pedagógico formativo hacia las actuales y las futuras generaciones de alumnos que suponga un comportamiento respetuoso con el medio ambiente. Así mismo, la responsabilidad que la Universidad de Barcelona tiene hacia el medio ambiente debe plasmarse en la confección y la puesta en marcha de un programa de gestión de residuos.

Con este motivo, ya en el año 1993 se firmó un convenio marco de colaboración entre la UB y la Junta de Residuos de la Generalitat de Catalunya. En este convenio la UB se compromete a elaborar un programa general de gestión de residuos en la Universidad, mientras que la Junta de Residuos participaría suministrando el soporte técnico y legal necesario.

La Universidad de Barcelona, en el año 1994, inició la realización de planes parciales para la gestión de residuos peligrosos y a recopilar datos sobre la generación de residuos especiales en sus instalaciones. Esta recopilación, llevada a cabo por Jordi Alsina i coordinada por Màrius Rubiralta y Ernest Trias, se materializó con la realización de un "Manual de tractament de Residus Tòxics i Peril·losos" (1994) y de una edición actualizada, en castellano (1996).

En 1997, la UB encargó a una empresa externa la confección de un plan de gestión de residuos generales. La redacción de dicho plan se encuentra finalizada y actualmente está en fase de implantación.

Ahora, en el año 1999, se publica un nuevo manual, en este caso con un ámbito de aplicación más amplio, sobre la gestión de residuos especiales. Se han incluido tanto los residuos tóxicos y peligrosos como los residuos sanitarios, radiactivos, de animales de experimentación, etc., que en los manuales anteriores no quedaban suficientemente definidos ni tratados.

El texto está organizado de la forma siguiente:

- Residuos químicos: por lo que se refiere a volumen y a distribución, son los más importantes en nuestra comunidad universitaria.

- Residuos sanitarios: hasta ahora no habían estado recogidos en los manuales anteriores, pero se generan también en volúmenes importantes y presentan características muy específicas, lo que obliga a una gestión muy cuidadosa.
- Residuos radioactivos: a causa de su especificidad, tanto su uso como su gestión son muy restringidos. De hecho su tratamiento debe ser obligatoriamente externo, a cargo de la empresa autorizada.
- Residuos de animales de experimentación: aunque su volumen no es muy importante se ha creído conveniente dedicarles un capítulo específico.
- Residuos de laboratorios fotográficos: hasta ahora no se habían tenido en cuenta, pero a pesar de que su volumen es pequeño, su especificidad y su amplia distribución han aconsejado incluirlos en el manual.

También se ha creído oportuno incluir un capítulo introductorio con todas las clasificaciones y definiciones de los diferentes tipos de residuos según la normativa vigente en cada caso, además de un capítulo específico para cada tipo de residuos, así como un capítulo referente a las normas y las medidas de seguridad a tener en cuenta durante el proceso de la gestión de los residuos. No se han incluido en este manual los datos meramente estadísticos de cantidades y volúmenes de residuos generados por cada instalación.

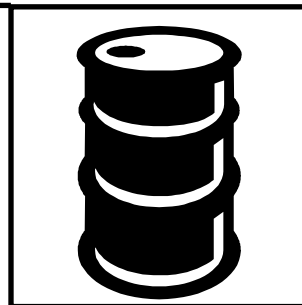
Con la publicación de este manual actualizado, tanto el Comité de Seguridad y Salud de la UB como la Oficina de Seguridad, Salud y Medio Ambiente (OSSMA) disponen ya de las herramientas necesarias para poder confeccionar un plan de gestión de residuos especiales de la Universitat de Barcelona, que se pueda implantar paralelamente al Plan de Gestión de Residuos Generales.

La reestructuración, actualización y revisión del manual han sido realizadas por Natalia Díaz, gracias a una beca de colaboración de la Universidad de Barcelona, durante el periodo de noviembre de 1997 y diciembre de 1999. Rosa Tur (OSSMA) ha revisado los capítulos de normas básicas de seguridad en la gestión de residuos especiales y el capítulo de legislación, además Josep Baró (OSSMA) ha revisado el capítulo de residuos radiactivos y Glòria Pladellorens (OSSMA) todo el libro bajo la perspectiva medioambiental. La dirección y coordinación del manual ha sido llevada a cabo por Albert Moyano.

Màrius Rubiralta
Vicerector de Investigación

Barcelona, abril de 2000

1. DEFINICIONES Y PRINCIPIOS BÁSICOS



1.1 INTRODUCCIÓN

Los residuos especiales exigen, en función de sus características físicas, químicas o biológicas, un proceso de tratamiento o eliminación especial. Aunque estadísticamente se conoce que la contribución de los residuos generados por los laboratorios químicos es únicamente del 1% respecto a todos los residuos generados por la actividad humana, no por esto su impacto puede considerarse negligible.

Según la nueva Ley de residuos (Ley 10/1998, BOE de 21 de abril de 1998), se consideran residuos peligrosos aquellos que figuran en la lista de residuos peligrosos, aprobada en el Real Decreto 952/1997 (BOE de 5 de julio de 1997), los recipientes y los envases que los hayan contenido, así como los que hayan estado calificados como peligrosos por la normativa comunitaria y los que el gobierno pueda aprobar de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en convenios internacionales de los que España forme parte.

Por otro lado, la Agencia de Protección Mediambiental (Environmental Protection Agency, EPA) de los Estados Unidos define los residuos peligrosos como aquellos residuos o combinación de residuos que presentan un determinado riesgo, ya sea actual o potencial, para la salud humana o para otros organismos vivos, a causa de alguno de los cuatro motivos genéricos siguientes:

- a) no-degradabilidad y persistencia en el lugar de vertido;
- b) posibilidad de efectos nocivos por efecto acumulativo;
- c) posibilidad de sufrir transformaciones biológicas con agravamiento de sus efectos;
- d) contenido elevado de componentes letales.

Existen diversas causas considerables como fundamentales para que ciertos materiales sean clasificados como residuos a eliminar, sin impedir que puedan ser objeto de operaciones que lleven a recuperarlos, reciclarlos, reutilizarlos o bien utilizarlos para usos alternativos:

- 1. *Productos caducados*, que se rechazan sin haber analizado si conservan o no intactos sus propiedades originales.
- 2. *Materiales o productos que se han deteriorado accidentalmente* (vertidos, etc.).
- 3. *Sustancias que han perdido parte de sus características requeridas.*
- 4. *Residuos procedentes de los procesos habituales del laboratorio.*
- 5. *Productos sin uso*, que ahora ya no se utilizan porque son inadecuados.

Los residuos generados en los laboratorios se caracterizan en general por su variedad (composiciones muy heterogéneas) y porque se suelen generar en cantidades bajas y muy variables a lo largo del tiempo. Además, en la mayoría de los casos estos residuos acostumbra a presentar una toxicidad y/o una peligrosidad elevadas, lo que dificulta su gestión.

La Universidad de Barcelona (UB), como entidad pública dedicada al desarrollo de la investigación y de la docencia, se plantea la cuestión de la gestión de residuos que genera su actividad para intentar responder a la necesidad de protección del medio ambiente y de mejora de la salud en el trabajo. En este contexto se inició una serie de acciones con el objetivo de garantizar que los residuos se gestionaban correctamente, y así mismo mejorar la conciencia ambiental de todos sus miembros y realizar una labor educativa sobre las nuevas generaciones de profesionales responsables del futuro de la gestión de residuos.

Como muestra de la concienciación en este tema, el año 1993 se firmó un convenio marco de colaboración entre la UB y la Junta de Residuos de la Generalitat de Catalunya. En este convenio, la UB se comprometía a elaborar un programa general de gestión de residuos en la Universidad, mientras que la Junta de Residuos participaría proveyendo soporte técnico y legal, supervisando las operaciones de gestión y la preparación e implantación del programa.

Uno de los primeros aspectos a desarrollar para afrontar el problema de la gestión de residuos es conocer la situación real de los residuos de esta Universidad. Por este motivo, el año 1994 se inició la elaboración de una memoria sobre el estado de los residuos en la UB con el fin de poder llevar a cabo un plan de gestión interna mediante la eliminación de la característica peligrosa de los residuos, el acondicionamiento y transporte y, en el caso de que esto no fuera posible, poder acudir a un proceso de gestión externa con plenas garantías de seguridad mediante un etiquetado y un envasado correctos. Esta memoria dio lugar a la publicación de un Manual de tractament de residus tòxics i perilluosos de la Universitat de Barcelona el año 1996.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS. DEFINICIONES

Según la Ley 6/1993 (DOGC de 28 de julio de 1993) se define:

Productor: cualquier persona, física o jurídica, cuya actividad produzca residuos como productor inicial y cualquier persona, física o jurídica, que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla o de otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de estos residuos.

Poseedor: el productor de los residuos o la persona física o jurídica que los tenga en posesión y no tenga la condición de gestor de residuos.

Gestión: la recogida, el transporte, el almacenamiento de los residuos, la valoración, la disposición del rechazo y la comercialización de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones y de los lugares de descarga una vez clausurados o cerrados. No se considera gestión de residuos la operación de reciclaje en origen de los residuos que se reincorporen al proceso productivo que los ha generado.

Recogida: la operación consistente en recoger, clasificar y/o agrupar residuos para transportarlos.

Transporte: la operación de traslado de los residuos desde el lugar de recogida hasta las plantas de reciclaje, tratamiento o disposición del rechazo.

Almacenamiento: la operación de depósito temporal de los residuos, previa a las operaciones de reciclaje, tratamiento o disposición del rechazo.

Comercialización: la operación de venta o transferencia de subproductos y materia o sustancias recuperables para reincorporarlas al proceso productivo.

Subproductos: los residuos que se pueden utilizar directamente como materias primas de otras producciones o como substitutos de productos comerciales y que son recuperables sin necesidad de someterlos a operaciones de tratamiento.

Reciclaje: las operaciones de recuperación de subproductos de los residuos.

Tratamiento: la operación o el conjunto de operaciones de cambio de características físicas, químicas o biológicas de un residuo para reducir o neutralizar las sustancias peligrosas

que contiene, recuperar materias o sustancias valorizables, facilitar su uso como fuente de energía o favorecer la disposición del rechazo.

Por otro lado, la definición de residuos, según la Ley 6/93 (DOGC de 28 de julio de 1993) es amplia: se considera residuo cualquier material u objeto del que su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse. El concepto clásico de residuo como material que su propietario destina al abandono se aplica a la definición de rechazo, que es el residuo, o a la fracción de éste, no valorizable. Con esta diferenciación entre residuo y rechazo, el concepto de residuo incluye todos los materiales producidos como consecuencia no deseada de cualquier actividad humana, independientemente de su contenido económico, su posibilidad de comercialización o su destino final.

Así mismo, y a efectos de su gestión, la Ley 6/93 (DOGC de 28 de julio de 1993) hace una primera clasificación de los residuos utilizando su origen como criterio de diferenciación. De esta forma encontramos:

- *Residuo municipal*: los residuos domésticos y también los residuos de comercios, de oficinas y servicios y otros residuos que, por su naturaleza o composición, pueden asimilarse a los residuos domésticos (residuos asimilables a urbanos).
- *Residuo industrial*: cualquier sustancia u objeto resultante de un proceso de producción, de transformación, de utilización, de consumo o de limpieza, del cual el productor o poseedor se desprenda o tenga la intención de desprenderse.

Por otro lado, y a efectos de disposición del rechazo y atendiendo a sus características, clasifica los residuos en:

- Residuos especiales: todo residuo comprendido en el ámbito de aplicación de la Directiva 91/689/CEE (DOCE de 31 de diciembre de 1991).
- Residuos no especiales: todo residuo que no sea clasificado como especial o como inerte.
- Residuos inertes: se considera residuo inerte el residuo que, una vez depositado en un vertedero, no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas y que cumple los criterios de lixiviación determinados por el reglamento.

En el Decreto legislativo 2/1991 (DOGC de 27 de setiembre de 1991) se definen los residuos industriales especiales como cualquier residuo industrial o comercial que, por sus características tóxicas o peligrosas o por causa de su grado de concentración, requiere un tratamiento específico y un control de sus efectos nocivos potenciales

Por otro lado, se excluyen del ámbito de aplicación de este Decreto legislativo los residuos siguientes, actualizados por la Ley 6/93 (DOGC de 28 de julio de 1993), reguladora de los residuos, y por las diferentes disposiciones legales aplicables a cada subgrupo:

- los residuos hospitalarios y clínicos (Decreto 27/99 –DOGC de 26 de febrero de 1999–, sobre ordenación de la gestión de los residuos sanitarios);
- los residuos resultantes de la prospección, la extracción, el tratamiento y el almacenamiento de recursos minerales y de la explotación de canteras;
- los residuos radiactivos;
- los explosivos desclasificados;
- los residuos no industriales derivados de actividades agrícolas y ganaderas;
- los efluentes gaseosos emitidos a la atmósfera;
- los residuos que se gestionan como aguas residuales.
- Las razones de esta exclusión las hemos de encontrar en las especificidades de estos residuos y en la existencia de legislación sectorial reguladora* (ver capítulo 8).

Por otro lado, y dentro del ámbito de los residuos industriales, se pueden establecer las definiciones siguientes para los residuos no especiales o inertes:

- *Residuos asimilables a urbanos*: son aquellos cuyas características les permiten ser gestionados conjuntamente con los residuos sólidos urbanos, siempre que no contengan ningún resto de residuos tóxicos. Fundamentalmente están constituidos por papel, cartón, plásticos, material textil, maderas, gomas, etc.
- *Residuos banales o inertes*: se caracterizan por su inocuidad y están constituidos por chatarra, vidrios, escorias, cenizas, escombros, abrasivos, polvos metálicos, arenas de moldeo, refractarios, lodos inertes, etc. Son aquellos que en condiciones de vertedero no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas. Como no presentan condiciones adversas para el medio ambiente, son susceptibles de ser utilizados en obras públicas como relleno, en vertederos, etc.

Por otro lado, la Ley 6/93 (DOGC de 28 de julio de 1993), reguladora de los residuos, establece la libertad para que el productor o poseedor de un residuo lo gestione por sí mismo, o lo transfiera a un gestor autorizado. Se exceptúan los poseedores de residuos que estén adscritos a un servicio público de recepción obligatoria de residuos, por ejemplo los residuos domésticos, que han de ser admitidos obligatoriamente por los servicios municipales de recogida.

Así mismo, declara servicio público el tratamiento de ciertos residuos especiales: frigoríficos y aparatos que contengan CFCs, pilas, tubos fluorescentes y lámparas de vapor de mercurio y aceites usados.

Complementariamente al marco definido en la ley, se ha publicado en el DOGC el Catálogo de residuos de Catalunya (Decreto 92/1999, DOGC de 12 de abril de 1999), que especifica para cada residuo el tipo (especial, no especial o inerte) y las alternativas de valorización y tratamiento. Por otro lado, en la Orden de 1 de junio de 1995 (DOGC de 30 de junio de 1995), relativa a la acreditación de laboratorios para la determinación de las características de los residuos, se especifican, además, en sus anexos 3 a 7, los criterios a seguir en la toma de muestras y en el análisis de residuos y sus lixiviados, haciendo referencia a métodos normalizados de análisis (ASTM, EPA, ISO, DIN, etc.).

1.3 CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD DE UN RESIDUO

La Directiva 92/32/CEE (DOCE L de 5 de junio de 1992) sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas hace las definiciones siguientes:

Sustancias: los elementos químicos y sus compuestos en estado natural o los obtenidos mediante cualquier proceso de producción, incluidos los aditivos necesarios para conservar la estabilidad del producto y las impurezas que resulten del proceso empleado. Quedan excluidos los disolventes que puedan separarse sin afectar la estabilidad ni modificar la composición.

Preparados: las mezclas o soluciones compuestas por dos o más sustancias.

En esta misma Directiva se establece la siguiente clasificación de las sustancias y los preparados peligrosos en función de sus características de peligrosidad:

Explosivo (E): sustancias y preparados que, incluso en ausencia de oxígeno en el aire pueden reaccionar de forma exotérmica y rápida y pueden explotar. Corresponde a sustancias de tipo explosivo.

Comburente (O): sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, especialmente con inflamables, producen una reacción fuertemente exotérmica. Corresponde a sustancias de tipo comburente.

Extremadamente inflamable (F+): sustancias que se inflaman muy fácilmente por la acción de una fuente de energía, incluso por debajo de 0°C. Corresponde a sustancias de tipo extremadamente inflamable.

Fácilmente inflamable (F): sustancias que se encienden en presencia de una llama, de una fuente de calor o por una chispa. Corresponde a sustancias de tipo fácilmente inflamable.

Inflamable: sustancias y preparados líquidos cuyo punto de ignición sea bajo. Corresponde a sustancias de tipo inflamable.

Muy tóxico (T+) y *tóxico (T)*: sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades, pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo tóxico, muy tóxico, carcinogénico, mutagénico y tóxico para la reproducción.

Nocivo (Xn): sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo nocivo, sensibilizante, carcinógeno (cancerígeno), mutagénico y tóxico para la reproducción.

Corrosivo (C): sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos, pueden ejercer una acción destructiva sobre éstos. Por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo corrosivo.

Irritante (Xi): sustancias y preparados no corrosivos que, en contacto con la piel o las mucosas, pueden provocar una reacción inflamatoria. Por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo irritante y sensibilizante.

Peligroso para el medio ambiente (N): sustancias y preparados que puedan presentar un peligro inmediato o futuro para el medio ambiente. Por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden provocar efectos agudos o crónicos o incluso la muerte. Corresponde a sustancias de tipo peligroso para el medio ambiente.

Aunque una misma clase nos indica diferentes sustancias y/o preparados peligrosos, los hay que no tienen una específica. Son los:

Sensibilizantes: sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilización, de forma que una exposición posterior a esta sustancia o preparado de lugar a efectos negativos característicos.

Carcinógenos: sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión y penetración cutánea, pueden producir cáncer o aumentar la frecuencia.

Mutagénicos: sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión y penetración cutánea, pueden producir defectos genéticos hereditarios o aumentar la frecuencia.

Tóxicos para la reproducción: sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión y penetración cutánea, pueden producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia, o afectar de forma negativa la función o capacidad reproductora masculina o femenina.

La Directiva 98/24/CE (DOCE L de 5 de mayo de 1998), relativa a la protección de la salud y de la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, define como agente químico peligroso:

- los agentes químicos clasificados como sustancias peligrosas en las Directivas 67/548/CEE (DOCE L de 27 de junio de 1967) y 88/379/CEE (DOCE L de 7 de junio de 1988).
- cualquier agente químico que pueda representar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores, a causa de sus propiedades físico-químicas, químicas o toxicológicas y de la forma en que se utiliza en el lugar de trabajo.

Por otro lado, y por lo que respecta a los residuos especiales no recogidos en la Ley 6/83 (DOGC de 20 de abril de 1983) y la Ley 6/93 (DOGC de 28 de julio de 1993), pertenecientes a subgrupos con normativa específica, se establecen las definiciones siguientes:

Residuos radiactivos

Según la Ley 40/1994 (BOE de 31 de diciembre de 1994) de ordenación del sistema eléctrico nacional, que modifica en su disposición adicional quinta la Ley 25/1964 (BOE de 4 de mayo de 1964), se define residuo radiactivo como cualquier material o producto de rechazo, para el cual no está previsto ningún uso, que esté contaminado con radionúclidos o los contenga en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear. Estos valores límite no han sido aún establecidos, pero la fecha máxima fijada por la Directiva 96/29/EURATOM (DOCE L de 29 de julio de 1996) para establecerlos es el mes de mayo del año 2000.

Residuos sanitarios

Se definen residuos sanitarios, según el Decreto 27/99 (DOGC de 26 de febrero de 1999) de ordenación de la gestión de los residuos sanitarios, como los residuos generados por actividades de atención a la salud, ya sean asistenciales, preventivas o de investigación, que hayan entrado en contacto directo o indirecto con pacientes.

Estos residuos se pueden clasificar en:

a) Residuos sin riesgo o inespecíficos:

Grupo I: Son residuos municipales que por su naturaleza y composición son inertes y no especiales y no requieren exigencias especiales de gestión ni dentro ni fuera del centro generador. Este tipo de residuos incluyen materiales como el cartón, papel, material de oficinas y despachos, cocinas, bares, comedores, talleres, jardinería, y en general los residuos que no deriven directamente de una actividad sanitaria.

Grupo II: Son residuos inertes y no especiales que no plantean exigencias especiales en su gestión fuera del centro generador, y pueden ser considerados como residuos asimilables a municipales. Dentro del centro generador sí que pueden suponer un riesgo de infección si no son manipulados correctamente. Este tipo de residuos incluyen material de curas, yesos, ropas y material de un solo uso manchados con sangre, secreciones y/o excreciones, así como otros residuos no englobados dentro de la categoría de los residuos sanitarios de riesgo.

b) Residuos de riesgo o específicos:

Grupo III: Son residuos especiales que requieren la adopción de medidas de prevención en la recogida, el almacenamiento, el transporte, el tratamiento y disposición del rechazo, tanto dentro como fuera del centro generador, ya que pueden generar un riesgo para la salud laboral y pública. Estos residuos son la sangre y hemoderivados en forma líquida, agujas y material punzante y cortante, vacunas vivas y atenuadas, residuos anatómicos (excepto cadáveres y restos humanos con entidad suficiente procedentes de abortos, mutilaciones y operaciones quirúrgicas), cultivos y reservas de agentes infecciosos, residuos de animales de investigación y/o experimentación inoculados biológicamente, y el resto de residuos sanitarios infecciosos. Se consideran a este efecto residuos sanitarios infecciosos los residuos capaces de transmitir alguna de las enfermedades infecciosas que figuran en el anexo de este Decreto (ver capítulo 5), y todos los residuos procedentes de enfermos que por necesidades de aislamiento, y a criterio del centro generador, pueden ser incluidos en este grupo.

Grupo IV: Son los residuos especiales no incluidos en el grupo III y los residuos citotóxicos, es decir, los compuestos por restos de medicamentos citotóxicos y todo el material que esté en contacto con ellos que presente propiedades cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas, como también los restos de sustancias químicas, los medicamentos caducados, los

aceites minerales, los residuos de laboratorios radiológicos y los residuos radioactivos, objeto de regulación en otras normas específicas. Para su gestión estos residuos están sujetos a requerimientos especiales desde el punto de vista higiénico y medioambiental, tanto dentro como fuera del centro generador.

Los residuos radiactivos que se almacenan en el centro sanitario mismo, una vez descalificados como radiactivos deberán ser gestionados atendiendo a su tipología (ver capítulo 6).

1.4 PRINCIPIOS BÁSICOS EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En la gestión de los residuos industriales los aspectos más importantes a tener en cuenta, según la normativa vigente, son:

- Los residuos industriales sólo se pueden entregar a tratadores autorizados expresamente por la Junta de Residuos para la gestión del tipo de residuos de que se trate.
- Es productor de un residuo el titular de la actividad que lo genera, y cualquiera que efectúe una manipulación de los residuos que ocasione un cambio en su naturaleza o composición.
- El productor de un residuo es responsable de los perjuicios que pueda causar el residuo, incluso si los ha entregado a un tratador autorizado en caso de que éste no pueda atender dicha responsabilidad.
- El productor es responsable del envasado y el etiquetado de los residuos y ha de vigilar el transporte hasta las instalaciones del tratador.
- El productor tiene la obligación de minimizar la producción de residuos. Está obligado a mantener un registro de todos los transportes de residuos que realice y ha de presentar una declaración anual en la cual consten las cantidades de residuos producidas, el tratamiento y el destino final.

Por lo que respecta a los residuos de los laboratorios, su gestión presenta una problemática diferenciada de los residuos industriales ya que se generan en pequeñas cantidades, presentan una gran variedad y una elevada peligrosidad tanto desde el punto de vista físico-químico como toxicológico y para el medio ambiente. Si no se tratan y se acumulan en el laboratorio generan productos químicos peligrosos innecesarios. Además, a menudo no suelen estar adecuadamente envasados, identificados y almacenados. Por lo tanto la gestión de este tipo de residuos constituye un aspecto fundamental en la aplicación de criterios de calidad y gestión ambiental en el laboratorio, y además es una de las exigencias de aplicación de las buenas prácticas de laboratorio (BPL).

Su gestión debe basarse en los principios de minimización, reutilización, tratamiento y eliminación segura. Para gestionarlos correctamente se debe establecer un programa de gestión de residuos en el laboratorio que recoja todos los residuos generados, sean banales o peligrosos, incluyendo los reactivos caducados, los reactivos no caducados pero innecesarios, los materiales de un sólo uso contaminados o no, los patrones y todos aquellos materiales o productos que se hayan utilizado o generado en el laboratorio, como medicamentos, papel, guantes, etc. Los aspectos que pueden influir en la elección de un procedimiento de eliminación de residuos y que se deben tener en cuenta en el momento de elaborar el programa de gestión son, entre otros, los siguientes:

- el volumen de residuos generados;
- la periodicidad de generación;
- la facilidad de neutralización;
- la posibilidad de recuperación, reciclaje o reutilización;
- el coste del tratamiento y de otras alternativas;

- la valoración del tiempo disponible.

Se deberá tener en cuenta, también, diferentes aspectos en función del tipo de laboratorio y de la actividad que se realiza:

- actividad del laboratorio (investigación, docencia, etc.);
- relación de productos utilizados;
- técnicas instrumentales utilizadas;
- relación de operaciones y determinaciones analíticas que se efectúen en el laboratorio;
- organización del laboratorio.

Así, un programa de gestión de residuos que incluya todos los residuos generados en el laboratorio debe incluir los apartados siguientes:

- *Inventario.* Se debe confeccionar una relación de todos los residuos generados y mantenerla actualizada. Se debe conocer también la periodicidad de generación para poder establecer unos plazos de recogida y tratamiento razonables, con el fin de racionalizar el volumen de residuos acumulados y evitar costes suplementarios.
- *Recogida selectiva.* El sistema de recogida selectiva se establecerá en función de los grupos establecidos con provisión de contenedores adecuados a las características de los residuos y identificación y etiquetado de los envases y los contenedores.
- *Caracterización, selección y clasificación.* La recogida y la selección de los residuos son básicas en un programa de gestión y se deben evitar los riesgos debidos a una manipulación, un transporte o un almacenaje inseguros. Así mismo facilita el tratamiento que ha de efectuarse para su eliminación. Todos los productos considerados como residuos deben estar clasificados e identificados en función de su peligrosidad (características físico-químicas, incompatibilidades, riesgos específicos y/o tratamiento y eliminación posteriores). De acuerdo con esto, todos los residuos han de ser etiquetados de forma que la etiqueta contenga suficiente información para garantizar una manipulación segura hasta en su disposición final: código de identificación, nombres químicos de los componentes principales, fecha de acumulación, riesgos que presenta el residuo mediante pictogramas...
- *Minimización/reducción/recuperación.* Se han de valorar las opciones más adecuadas de recuperación (existen muchos procesos de recuperación de productos), de reciclaje o de reutilización de los productos químicos del laboratorio (experimentos consecutivos con los subproductos o bien utilización en otros centros mediante la generación de bolsas de subproductos de laboratorio); tratamiento adecuado en el mismo laboratorio o bien racionalización de las compras (optimización de los stocks), con el fin de reducir al máximo la generación de residuos. También pueden diseñarse experimentos de docencia o investigación a escala más reducida, o bien seleccionar reactivos de menos toxicidad.
- *Almacenaje.* Los residuos nunca deben almacenarse en el mismo laboratorio, ya que esto aumentaría el riesgo. Por tanto, se debe disponer de un espacio separado del laboratorio destinado a almacén de residuos y equipado con los elementos de seguridad y extinción de incendios necesarios. Además, se debe disponer de recipientes especiales que permitan la recogida posterior en condiciones de seguridad. Los aspectos que ha de cumplir un envase son: resistencia al ataque químico, cierres seguros y pequeños y no más de 200 L de capacidad. Este almacenamiento ha de realizarse de acuerdo con los grupos establecidos, evitando incompatibilidades y otras situaciones peligrosas que puedan incrementar el riesgo. Han de tenerse en cuenta aquellos residuos que exigen una gestión diferenciada, como los cancerígenos y los radiactivos. En el almacén se ha de llevar un registro, donde se

han de anotar las fechas de entrada y salida, y no se debe admitir ningún residuo si no está adecuadamente etiquetado.

- *Normas y medidas de seguridad.* El programa de gestión ha de incluir todas las informaciones relativas a la peligrosidad de los productos, las condiciones de manipulación, los tipos de envases, las incompatibilidades y las actuaciones en caso de derrames, vertidos o incendios y las emergencias, así como las medidas de protección tanto colectivas como individuales adecuadas a los productos a tratar. Estas normas deben estar recogidas por escrito y deberían seguirse estrictamente para prevenir posibles riesgos.
- *Actuaciones en caso de accidente/incidentes.* Se han de dar todas las instrucciones de actuación en caso de vertidos o derrames, o de cualquier incidente que pueda producirse. Así mismo han de indicarse las pautas de actuación si hay una emergencia.

Además, el programa de gestión deberá contener los aspectos siguientes:

- *Responsable o responsables* que supervisen y comprueben la correcta aplicación y la ejecución del programa e informen a la dirección del departamento, la unidad o el servicio.
- *Nivel de recursos necesarios.* Se debe conocer y evaluar el coste del programa incluyendo todas las operaciones de gestión externa: recogida, transporte (ha de realizarse con una furgoneta que disponga de los dispositivos de seguridad necesarios), almacenaje en estaciones de transferencia y posterior tratamiento final (incineración, tratamiento físico-químico o bien vertido controlado).
- *Formación y información sobre el programa.* Todo el personal ha de conocer la existencia y las características del programa de gestión de residuos adoptado, su ejecución y la responsabilidad que se derive. La información sobre el programa deberá proporcionarse por escrito.
- *Vigilancia sobre el proceso.* Es obligación del productor de residuos, cuando estos estén destinados a tratamiento y/o gestión externa, comprobar que tanto la empresa encargada del transporte como la empresa tratadora estén reconocidas y autorizadas como tales por la Administración y que se cumplen todos los requisitos administrativos (hojas de seguimiento, declaraciones de residuos, etc.).

Por otro lado existen unos grupos de residuos afectados por disposiciones legales específicas, como los residuos radiactivos, los residuos sanitarios, los residuos biológicos y los residuos con agentes cancerígenos. Esto implica que estos residuos han de gestionarse de forma diferenciada de acuerdo con las prescripciones legislativas específicas para cada tipo, ya que han de tener una identificación propia que permita reconocerlos claramente. Estas consideraciones específicas deberán estar recogidas en el programa de gestión de residuos.

En el caso de los residuos radiactivos, únicamente pueden ser gestionados por una empresa autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que en nuestro país es ENRESA, directamente o indirectamente.

En el caso de los residuos biológicos se deben aplicar las directrices de la Directiva 90/679/CEE (DOCE L de 31 de diciembre de 1990) y sus modificaciones posteriores y del Real Decreto 664/1997 (BOE de 24 de mayo de 1997), sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos. Si son generados en un centro sanitario se deben aplicar las disposiciones relativas a los residuos sanitarios, que se deben de gestionar de acuerdo con el Decreto 27/99 (DOGC de 26 de febrero de 1999).

En el caso de los residuos de productos cancerígenos se deben aplicar las directrices de la Directiva 90/394/CEE (DOCE L de 26 de julio de 1990) y el Real Decreto 665/1997 (BOE de 24 de mayo de 1997), relativos a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

Por lo que respecta a los residuos procedentes de restos de animales de experimentación muertos, estos han de ser gestionados por el Servei Municipal de Recollida d'Animals Morts, dependiente de Parcs i Jardins en Barcelona, y a través del hospital de Bellvitge, en L'Hospitalet.

Otro grupo de residuos que merece una consideración especial es el formado por los gases a presión, sometidos a la reglamentación relativa a aparatos a presión. No obstante, si se dispone de una bombona o una botella que no se piense utilizar o esté caducada, se debe retornar al suministrador si es el propietario o, si es propiedad del laboratorio, se debe vaciar con las debidas precauciones, lavarla y llenarla de agua para que resulte inutilizable y gestionarla como un recipiente metálico. Este procedimiento sólo se puede realizar con gases no tóxicos y no corrosivos. Por otra parte, se debe contactar con el proveedor o con una empresa especializada.

Así mismo, se deben de considerar los residuos provenientes de pilas, fluorescentes y aceites usados, ya que a pesar de que su producción no es demasiado abundante su gestión es muy específica y está recogida como servicio público en la Ley 6/1993 (DOGC de 28 de julio de 1993). Los aceites usados están regulados por diferentes normativas, tanto comunitarias (Directiva 75/439/CEE, DOCE L de 25 de julio de 1975 y modificaciones) como estatales (Orden de 28 de febrero de 1989, BOE de 8 de marzo de 1989) o autonómicas (Orden de 6 de setiembre de 1988, DOGC de 14 de octubre de 1988). Con respecto a pilas y acumuladores, su gestión está regulada por la Directiva 91/157/CEE (DOCE L de 26 de marzo de 1991).

1.5 RESIDUOS GENERADOS EN LA UB

Dentro del contexto en el cual se inscribe este escrito, los residuos producidos por las diferentes instalaciones de las instituciones universitarias se pueden clasificar en:

a) Residuos asimilables a urbanos: son aquellos cuyas características les permiten ser gestionados conjuntamente con los residuos sólidos urbanos, siempre que no contengan ningún resto de residuos tóxicos. Fundamentalmente están constituidos por papel, cartón, plásticos, vidrios, material textil, maderas, gomas, etc.

b) Residuos banales o inertes: se caracterizan por su inocuidad, estando constituidos por determinados tipos de chatarra, escorias, cenizas, escombros, abrasivos, polvos metálicos, arenas de moldeo, refractarios, lodos inertes, etc. Como no presentan condiciones adversas para el medio ambiente, son susceptibles de ser utilizados en obras públicas como relleno, en vertederos, etc.

c) Residuos especiales: son considerados como tales aquellos que se definen en la Ley básica como residuos tóxicos y peligrosos, o que se especifican en el Reglamento que desarrolla la Ley, o finalmente aquellos que pueden ser incluidos en las revisiones sucesivas de las directivas correspondientes de la CEE. Estos residuos y aún otros que, no siendo específicamente tóxicos y peligrosos, pueden llegar a serlo en determinadas combinaciones, cantidades o concentraciones exigen, en función de sus características físicas, químicas o biológicas, un proceso de tratamiento o eliminación especial. Se incluyen también aquellos residuos con legislación específica, como los radioactivos, los sanitarios, etc.

Por otro lado, los residuos especiales generados en la Universidad de Barcelona también se pueden clasificar, según su composición, en:

- residuos químicos;
- residuos sanitarios, incluyendo los biosanitarios y los residuos de animales de experimentación;
- residuos radiactivos.

Merecen una consideración aparte un grupo de residuos, los generados en los laboratorios fotográficos, que se tratan en un capítulo específico (capítulo 7) por sus características de generación y/o gestión.

También se han de considerar los residuos procedentes de restos de pinturas y barnices y los aceites residuales; por un lado, están los procedentes de la actividad docente y de investigación y, por otro, los generados en el servicio de mantenimiento.

El volumen más importante de residuos generados en las instalaciones de la UB está constituido por los residuos químicos. Prácticamente se generan en todos los laboratorios de la División III (Ciencias Experimentales y Matemáticas: Facultades de Química, Biología, Física y Geología) y de la División IV (Ciencias de la Salud: Facultades de Medicina, Farmacia, Psicología y Escuelas de Enfermería, Odontología y Podología), en algunos laboratorios de la División I (Ciencias Humanas y Sociales: Facultad de Bellas Artes y Laboratorio de Paisaje de la Facultad de Geografía), de la División V (Ciencias de la Educación: Departamento de Ciencias Experimentales y Matemáticas) y en los laboratorios de los servicios científico-técnicos. Excepto los residuos que se pueden neutralizar y tratar en el mismo laboratorio donde se generan (ver capítulo 3), siempre en pequeñas cantidades, la mayor parte se gestiona mediante un tratador externo.

El segundo grupo de residuos, en función de su volumen, lo constituye los residuos sanitarios y contaminados por agentes biológicos y/o cancerígenos (grupos III y IV de residuos sanitarios). La mayor parte de estos residuos se genera en los diferentes centros de la División IV (Ciencias de la Salud), incluyendo tanto los generados en los laboratorios de investigación, los generados por la docencia y los originados en las diferentes clínicas que posee la UB (Odontología, Podología). En este apartado también se deben incluir algunos de los residuos generados por los servicios científico-técnicos y la Facultad de Biología (División III).

Los residuos radiactivos, a pesar de que no se generan en volúmenes considerables, merecen un tratamiento especial, ya que por sus características de peligrosidad requieren unas medidas de seguridad muy cuidadosas. Los principales centros donde se generan residuos radiactivos son: la División IV (Ciencias de la Salud), los laboratorios experimentales de la División III (Ciencias Experimentales y Matemáticas) y los servicios científico-técnicos. Las instalaciones radiactivas existentes son las siguientes:

- instalación radiactiva de la Facultad de Biología,
- instalación radiactiva de las Facultades de Química y Física,
- instalación radiactiva de la Facultad de Farmacia,
- instalación radiactiva de la Facultad de Medicina (campus Casanova),
- instalación radioactiva del campus de Bellvitge,
- instalación de rayos x de la Clínica Odontológica,
- instalación de rayos x de la Clínica Podológica.

Por lo que respecta a los residuos de animales de experimentación, éstos se generan en los diferentes estabularios que hay en los centros de la División IV (Ciencias de la Salud: estabularios del campus Casanova-Facultad de Medicina, campus de Bellvitge, Facultad de Farmacia y Facultad de Psicología) y a la Facultad de Biología de la División III (Ciencias Experimentales y Matemáticas).

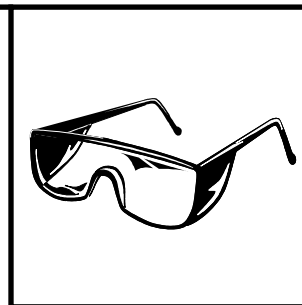
Los residuos de laboratorios fotográficos son un caso aparte, porque se generan en muy poca cantidad pero en un número muy grande de pequeñas unidades de revelado fotográfico diseminadas por los diferentes centros de la UB.

Por otro lado hay que remarcar también que la gestión de pilas y fluorescentes no se ha incluido en este manual, pero lo estará en el Plan de residuos generales de la Universidad de Barcelona.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNABEI, D. (1994): Seguridad. Manual para el laboratorio. E. Merck, GIT Verlag, Darmstadt RFA, 1994.
- FISCHER, K. E.; i CLARKE, A. N. (1988): Hazardous waste: detection, control, treatment. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam. Netherlands.
- GADEA CARRERA, E. (1994): Seguridad en el laboratorio: gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades. Notas Técnicas de Prevención, 359-1994.
- GADEA CARRERA, E.; i GUARDINO SOLÁ, X. (1991): Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales. Notas Técnicas de Prevención, 276-1991.
- GARCÍA-MIRA, R.; ARCE, C. i SABUCEDO, J.M. (1997): Responsabilidad ecológica y gestión de los recursos ambientales. A Coruña, 1997.
- GUARDINO SOLÁ, X.; ROSELL FARRÁS, M.G; i GADEA CARRERA, E. (1996): Prevención del riesgo en el laboratorio. Organización y recomendaciones generales. Notas Técnicas de Prevención, 432-1996.
- Il European Forum (1994): Science and Safety. Universitat de Bracelona, 1994.
- Institut Cerdà (1992): Manual de minimitzación de residuos y emisiones industriales. Barcelona, 1992.
- LELEU, J (1995): Prévention des risques dans les laboratoires de chimie. Cahiers de notes documentaires, núm. 160, 1995.
- Massachusetts Institute of Technology (1996): Chemical Hygiene Plan and Safety Manual. Departament of Chemistry.
- Universidad de Oviedo (1996): Jornadas técnicas nacionales sobre: la gestión de residuos en el laboratorio universitario. la gestión compartida. Vicerectorado de extensón universitaria. Servicio de higiene y seguridad en el trabajo.

2. **NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS ESPECIALES**



2.1. INTRODUCCIÓN

Es importante en un programa de gestión de residuos la seguridad y la salud de los trabajadores encargados de la eliminación y traslado de estos residuos hasta los almacenes intracentro, de donde serán posteriormente transportados por empresas reconocidas para su gestión ulterior.

En muchos procesos de trabajo se utilizan materiales que por sus características toxicológicas y físico-químicas, pueden ser peligrosos para la salud o el medio ambiente y también pueden provocar incendios o explosiones.

Estos productos peligrosos para la salud o el medio ambiente los encontramos en diferentes lugares de trabajo: en el almacén, el taller, el laboratorio, la oficina, etc. Durante su utilización los podemos encontrar como materia prima, como nueva sustancia, preparado o producto comercializado, o bien ya como residuo generado.

Durante la manipulación de los residuos producidos los riesgos a los que están sometidos los trabajadores pueden ser debidos a factores intrínsecos: por tener determinadas propiedades físico-químicas o de reactividad química, determinantes de su peligrosidad; o bien, debidos a factores externos por la inseguridad con que se manipulan estos residuos, ya sea por fallos en las instalaciones o equipos, por problemas organizativos, o bien por un comportamiento humano inadecuado, a causa básicamente del desconocimiento de la peligrosidad del residuo y así como, por una falta de formación en relación con el procedimiento de trabajo a seguir durante la manipulación de los productos utilizados.

Las buenas condiciones del espacio y el entorno de los lugares de trabajo evitan muchas situaciones inseguras y, por tanto, un buen diseño preventivo, así como una evaluación previa de los posibles riesgos permitirá unas medidas preventivas eficaces que nos ayudará en la reducción y control de los posibles riesgos.

Los medios de prevención o protección contra incendios irán encaminados a reducir las posibilidades de inicio del incendio y a evitar su propagación y reducir al mínimo sus consecuencias.

Estos medios de protección podrán ser:

- estructurales de los edificios
- de detección y alarma
- de extinción
- de evacuación

Una correcta señalización es una buena técnica complementaria de las medidas de seguridad adoptadas y no dispensará, en ningún caso, de la adopción de las medidas de prevención que correspondan. La información que dé esta señalización deberá ser clara y unívoca. El uso de una señalización eficaz ha de atraer la atención de los destinatarios y suministrar una indicación relativa a la seguridad de personas y/o bienes.

Finalmente, el correcto almacenaje de los materiales evitará también posibles riesgos y las consecuencias que se pudiesen derivar, o al menos reducir sus efectos.

Por otro lado, los equipos de protección individual sirven para minimizar las consecuencias que se derivan de las situaciones de riesgo y por tanto para proteger de los posibles daños a la salud de los trabajadores.

2.2. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Todos los residuos que deban ser eliminados deberán disponer de una correcta identificación donde consten los datos sobre su peligrosidad y su destinación final, para facilitar su gestión y consecuentemente minimizar situaciones de riesgo.

Deberán estar correctamente etiquetados de acuerdo con la legislación vigente sobre clasificación, envasado y etiquetado de productos y sustancias químicas (Real Decreto 363/1995, BOE de 5 de junio de 1995, y Real Decreto 1078/1993, BOE de 9 de setiembre de 1993).

La primera información que recibe el usuario y que le permite identificar la sustancia, el producto o el residuo generado, y sus riesgos es la etiqueta. Esta etiqueta ha de estar escrita al menos en el idioma oficial del estado (en nuestro caso, el castellano).

El etiquetado condicionará toda la gestión de residuos

El etiquetado de los productos químicos juntamente con las fichas de datos de seguridad es una herramienta imprescindible para una utilización segura y ha de alcanzar no sólo los productos adquiridos o destinados a su comercialización si no también los generados en las diferentes unidades, departamentos y servicios de la Universidad, así como los residuos que se produzcan. En estos casos la información contenida en la etiqueta ha de hacer referencia fundamentalmente a la identificación del producto y sus riesgos.

Los envases o contenedores de estas sustancias, productos o residuos generados, deberán ser adecuados a cada tipo de residuo, considerando su estado físico, sus propiedades y la destinación final.

Por lo que se refiere a la señalización de recipientes y envases que contengan sustancias y preparados peligrosos, el Real Decreto 485/1997 (BOE de 23 de abril de 1997) indica:

- Los recipientes que contengan o puedan contener productos a los que sea de aplicación la normativa sobre comercialización de sustancias y preparados peligrosos deberán ser etiquetados según lo dispuesto en la misma. Se podrán exceptuar los recipientes utilizados durante un tiempo corto y aquellos cuyo contenido cambie a menudo, siempre que se tomen las medidas alternativas adecuadas, fundamentalmente de formación e información, que garanticen un nivel de protección equivalente.
- Las etiquetas se pegarán, fijarán o pintarán en lugares visibles de los recipientes. Las características intrínsecas y condiciones de utilización de las etiquetas deberán ajustarse, cuando proceda, a lo dispuesto para los paneles en los apartados 1.3. y 2. del anexo III de este Real Decreto.
- La información de la etiqueta podrá complementarse con otros datos, como el nombre o fórmula de la sustancia o preparado peligroso o detalles adicionales sobre el riesgo.
- El etiquetado podrá ser sustituido por las señales de advertencia contempladas en el anexo III, con el mismo pictograma o símbolo; en el caso del transporte de recipientes dentro del lugar de trabajo, podrá sustituirse o complementarse por señales

en forma de paneles de uso reconocido, en el ámbito comunitario, para el transporte de sustancias o preparados peligrosos.

2.3. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI'S)

Aunque muchas de las operaciones que se realizan sean de corta duración o esporádicas, debido al alto riesgo que puede suponer el uso de determinadas sustancias, materiales o aparatos, es necesario utilizar equipos de protección individual (EPI).

Desde el punto de vista prevencionista, siempre se ha de anteponer la protección colectiva a la protección individual. Las protecciones individuales son sencillamente elementos de uso directo sobre el cuerpo del trabajador, que por sí solas no eliminan ni corrigen el factor de riesgo, y constituyen un medio de defensa para el trabajador delante de los riesgos que implica el trabajo que realiza.

Según el Real Decreto 773/1997 (BOE de 30 de mayo de 1997) se define *equipo de protección individual* como cualquier equipo destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que lo proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

Se excluyen de esta definición:

- La ropa de trabajo corriente y los uniformes que no estén específicamente destinados a proteger la salud o la integridad física del trabajador.
- Los equipos de los servicios de socorro y salvamento.
- Los equipos de protección individual de los militares, policías y de las personas de los servicios de mantenimiento del orden.
- Los equipos de protección individual de los medios de transporte por carretera.
- El material deportivo.
- El material de autodefensa o de disuasión.
- Los aparatos portátiles para la detección y señalización de los riesgos y de los factores de molestia.

Estos equipos deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad o salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, métodos o procedimientos de organización del trabajo.

Deberán proporcionar una protección eficaz frente a los riesgos que motiven su uso, sin ocasionar o suponer por sí mismos riesgos adicionales ni molestias innecesarias. Deberán:

- Responder a las condiciones existentes en el lugar de trabajo.
- Tener en cuenta las condiciones anatómicas y fisiológicas y el estado de salud del trabajador.
- Adecuarse al portador, después de los ajustes necesarios.

Cualquier operación de manipulación o transporte de residuos deberá iniciarse con la utilización de los equipos de protección que se hayan definido en los procedimientos o protocolos de actuación.

En el caso de la eliminación de residuos se considerará como equipo de protección individual mínimo:

- *Gafas*: es absolutamente obligatorio emplear gafas cerradas para protegerse de salpicaduras en la manipulación de los residuos.
- *Guantes*: se deberán utilizar guantes para proteger la piel de contactos con sustancias, productos y preparados peligrosos, y evitar así las salpicaduras. Estos guantes

deberán ser resistentes y proporcionar la protección necesaria según los tipos de productos manipulados.

- *Máscaras*, se utilizarán cuando se deban manipular compuestos volátiles de alta toxicidad. Las máscaras de protección llevarán filtros homologados para la sustancia de que se trate. Serán adecuadas a los productos a manipular. En cualquier caso se tendrán en cuenta las características fisiológicas de la persona que los ha de utilizar, ya que algunos equipos pueden reducir el campo de visión o bien pueden ser pesados. El trabajador tendrá la posibilidad de elección del equipo a utilizar.
- *Delantales* y en general ropa determinada en función del tipo de residuo a manipular, eliminar o transportar.
- *Botas* con punteras metálicas que protejan de la caída de objetos o herramientas (botellas y/o envases en general).
- Y aquellos otros que puedan ser necesarios en función de la peligrosidad del residuo a manipular, eliminar o transportar.

Por otro lado, y como instrucciones básicas de utilización, almacenaje y mantenimiento de los equipos de protección individuales, tenemos:

- Los EPI han de mantenerse siempre en perfectas condiciones para su utilización y limpiarlos cuando sea conveniente.
- Todo EPI que presente una deficiencia ha de ser rechazado.
- Se han de vigilar periódicamente las fechas de caducidad de los EPI.
- Cuando no se utilicen, las máscaras han de permanecer en una caja o envoltorio impermeable, sólido y que cierre herméticamente.
- Las gafas, pantallas, etc., se han de guardar de manera que queden protegidas delante de posibles deterioros.
- Los EPI que puedan contaminarse por materias radiactivas han de ser controlados después de ser utilizados, y se ha de confirmar la ausencia de contaminación.
- La utilización, el almacenaje, el mantenimiento, la limpieza, la desinfección y la reparación de los EPI deberá efectuarse de acuerdo con las instrucciones básicas del fabricante.
- Los equipos de protección individual estarán destinados, en principio, a un uso personal. Si por cualquier motivo diversas personas tuvieran que utilizar un mismo equipo, se adoptarán las medidas necesarias para que esto no origine ningún problema de salud o de higiene a los diferentes usuarios.

2.4. CONDICIONES GENERALES DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS LUGARES Y ESPACIOS DE TRABAJO

2.4.1. CONDICIONES GENERALES DE SEGURIDAD

En el Real Decreto 486/1997 (BOE de 14 de abril de 1997) se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en los lugares de trabajo, entendiendo como tales las áreas del centro de trabajo, edificadas o no, en donde los trabajadores han de permanecer o a las que puedan acceder por razón de su trabajo.

Cuando hablamos de la gestión de residuos, el lugar de trabajo del que se habla en el apartado anterior corresponderá tanto a los lugares o espacios de trabajo donde se generen los residuos, como al recorrido hasta al destino temporal de almacenaje de estos residuos, y el espacio destinado en cada edificio como almacén de residuos.

Todos estos espacios deberán cumplir las condiciones generales de seguridad del anexo y del mencionado Real Decreto. Entre otras:

Vías y salidas de evacuación

Las vías y salidas de evacuación deberán permanecer expeditas y desembocar lo más directo posible al exterior o a una zona de seguridad. Todas las salidas, sean o no de emergencia, estarán localizadas y señalizadas.

En caso de peligro, los trabajadores deberán poder evacuar todos los lugares de trabajo rápidamente y en condiciones de máxima seguridad.

Las puertas situadas en los recorridos de las vías de evacuación deberán estar señalizadas de manera adecuada. Se deberán poder abrir en cualquier momento desde el interior sin ayuda especial. Esta señalización deberá fijarse en los lugares adecuados y ser duradera.

Las vías y salidas de evacuación, así como las vías de circulación que den acceso a ellas, no deberán estar obstruidas por ningún objeto de forma que puedan utilizarse sin impedimentos y se deberán abrir hacia el exterior. Las puertas de emergencia no se deberán cerrar con llave.

En caso de avería del sistema eléctrico, las vías y salidas de evacuación que lo requieran deberán estar equipadas con iluminación de seguridad que permitan una visibilidad suficiente.

Protección contra incendios

Los lugares de trabajo deberán estar equipados con dispositivos adecuados para combatir los incendios.

Por lo que respecta a los medios de protección contra incendios, estos deberán satisfacer las siguientes condiciones:

- Los dispositivos no automáticos de lucha contra los incendios deberán ser de fácil acceso y manipulación.
- Existirán extintores adecuados para los diferentes tipos de fuego que se puedan producir. Deberá formarse al personal para atender las posibles eventualidades que se puedan producir.

Instalación eléctrica

- La instalación eléctrica no deberá comportar riesgos de incendio o explosión. Los trabajadores deberán estar debidamente protegidos contra los riesgos de accidente causados por contactos directos o indirectos.
- La instalación eléctrica y los dispositivos de protección deberán tener en cuenta la tensión y los factores externos condicionantes.

Los medios contra accidentes deberán disponer de duchas de seguridad, lavaojos y equipos de primeros auxilios, y se deberá conocer su localización.

El personal deberá tener cuidado del correcto funcionamiento de los equipos de emergencia, vigilando el mantenimiento y el uso de los medios correspondientes.

Se dispondrá de un plan de emergencia y evacuación que deberá conocer el personal responsable.

2.4.2. SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD

La entrada a los lugares donde se manipulen o se almacenen residuos deberán tener visibles las señales de peligro que correspondan, así como las indicaciones de los EPI a emplear, según el Real Decreto 485/1997 (BOE de 23 de abril de 1997), sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Áreas de almacenaje

Las zonas, locales o recintos utilizados para almacenar cantidades importantes de sustancias o preparados peligrosos deberán identificarse mediante la señal de advertencia adecuado, de las indicadas en el anexo III del mencionado Real Decreto, o mediante la etiqueta que corresponda, de acuerdo con la normativa mencionada en el apartado 4.1.º, de este Real Decreto, colocadas, según sea el caso, cerca del lugar de almacenaje o en la puerta de acceso al mismo. Esto no será necesario cuando las etiquetas de los diferentes envases y recipientes, hagan posible por sí mismas dicha identificación.

El almacenaje de diferentes sustancias o preparados peligrosos puede indicarse mediante la señal de advertencia “peligro en general”.

Equipos de protección contra incendios

- Los equipos de protección contra incendios deberán ser de color rojo o predominantemente rojo, de forma que se puedan identificar fácilmente por su propio color.
- El emplazamiento de los equipos de protección contra incendios se señalará mediante el color rojo o por una señal en forma de paneles de los indicados en el apartado 3.4º, del anexo III del mencionado Real Decreto. Cuando sea necesario, las vías de acceso a los equipos se mostrarán mediante las señales indicativas adicionales especificadas en el mencionado anexo.

Medios y equipos de salvamento y socorro

La señalización para la localización y identificación de las vías de evacuación y de los equipos de salvamento o socorro se realizará mediante señales en forma de paneles de los indicados en el apartado 3.5.º del anexo III de dicho Decreto.

Situaciones de emergencia

La señalización dirigida a alertar a los trabajadores o a terceros de la aparición de una situación de peligro y de la consiguiente y urgente necesidad de actuar de una forma determinada o de evacuar la zona de peligro, se realizará mediante una señal luminosa, una señal acústica o una comunicación verbal. A igualdad de eficacia podrá optarse por cualquiera de las tres; también podrá emplearse una combinación de una señal luminosa con una señal acústica o con una comunicación verbal.

2.5. MANIPULACIÓN

2.5.1. MANIPULACIÓN DE LOS PRODUCTOS

El contacto con agentes químicos mediante su manipulación durante el proceso de eliminación de los residuos y/o durante su trasvase y transporte, puede producir daños al cuerpo humano.

El daño que una sustancia tóxica puede producir en un organismo depende de la dosis y del tiempo que tarda en administrarse esta dosis.

Por tanto, será necesario establecer medidas preventivas para eliminar o reducir el riesgo y conseguir unas condiciones de trabajo seguras.

Por esta razón es importante seguir una serie de normas mientras se realice esta manipulación.

Disponer de la ficha de datos de seguridad de los productos utilizados permite establecer procedimientos de trabajo seguros y tomar medidas para el control y reducción del riesgo, y facilita a los trabajadores información y datos complementarios a los contenidos en la etiqueta.

La *ficha de datos de seguridad* (FDS) de los productos es una fuente de información que complementa la contenida en la etiqueta y constituye una herramienta de trabajo muy útil, especialmente en el campo de la prevención de los riesgos laborales.

Según la normativa vigente sobre clasificación, envasado y etiquetado de productos peligrosos, esta ficha se ha de facilitar obligatoriamente con la primera entrega de un producto químico peligroso.

En caso de que la persona encargada de la gestión de residuos no esté asignada en ninguna unidad o servicio donde se generen estos residuos y, por tanto, no tenga a su alcance las fichas de seguridad, deberá solicitarlas y mantener su propio archivo de las fichas correspondientes a las sustancias, productos o preparados que tenga que manipular, que deberán facilitarle los generadores de los residuos.

Desde el punto de vista preventivo las fichas de datos de seguridad han de:

- Proporcionar datos que permitan identificar el producto y al responsable de su comercialización, así como un número de teléfono donde efectuar consultas de emergencia.
- Informar sobre los riesgos y peligros del producto respecto a inflamabilidad, estabilidad y reactividad, toxicidad, posibles lesiones o daños por inhalación, ingestión o contacto dérmico, primeros auxilios y ecotoxicidad.
- Formar al usuario del producto sobre el comportamiento y las características del producto, la correcta utilización (manipulación, almacenaje, eliminación, etc.) los controles de exposición, los medios de protección (individual o colectiva) a utilizar en caso de que el control no fuese del todo eficaz o en caso de emergencia, las actuaciones a realizar en caso de accidente tales como extintores adecuados contra incendio, control y neutralización de vertidos, etc.

2.5.2. MANIPULACIÓN DE ENVASES Y DE OTROS

Los envases, que deberán estar señalizados adecuadamente, deberán ser manipulados de forma que no provoquen riesgos para los trabajadores.

Será necesario, por tanto, tener en cuenta lo que se establece en el Real Decreto 487/97 (BOE de 23 de abril de 1997) sobre Manipulación de cargas.

Se intentará tomar las medidas necesarias para evitar la manipulación manual de cargas, en especial mediante la utilización de equipos para su manipulación mecánica.

Para mover las bombonas o bidones se utilizarán carretillas manuales adecuadas a la carga a llevar.

2.6. ALMACENAJE

El almacenaje de residuos se ha de hacer en un lugar separado del laboratorio y provisto de los elementos de seguridad necesarios.

Tendrá ventilación, la iluminación deberá estar protegida, de acuerdo con las características de los productos almacenados y deberá cumplir los requisitos de la reglamentación sobre almacenaje de productos.

Se tendrán en cuenta las incompatibilidades entre residuos en el momento de su ubicación dentro del almacén. Igualmente se tendrán en cuenta otras situaciones de peligrosidad que puedan incrementar el riesgo.

Se segregarán claramente aquellos residuos que por sus características exigen una gestión separada como los radioactivos, biosanitarios o cancerígenos.

Los productos inflamables se han de separar del resto.

Los líquidos volátiles se mantendrán alejados de las fuentes de calor, las luces y los interruptores eléctricos.

Se ha de evitar guardar botellas abiertas.

Igualmente se deberá comprobar la estanqueidad total del recipiente a emplear.

Los productos que desde hace tiempo no se empleen serán devueltos al productor o eliminados como residuo.

En el caso de gases a presión y de acuerdo con la reglamentación vigente si se dispone de una botella o bombona que no vaya a ser utilizada o que esté caducada se deberá retornar al suministrador si es de su propiedad o, en otro caso, vaciarla con las debidas precauciones, lavarla y llenarla de agua para que quede inutilizable y gestionarla como un recipiente metálico en su eliminación.

Se llevará un registro, anotando las fechas de entrada y salida, y no se aceptará ningún residuo que no esté etiquetado. En el caso que se haya perdido la etiqueta original se tendrá que, o bien hacer una nueva identificación, o bien eliminarlo como residuo muy peligroso si no se sabe que es.

2.7. MEDIDAS GENERALES DE ACTUACIÓN

En laboratorio y en los almacenes de productos o de residuos, se han de cumplir las siguientes normas de seguridad:

- Papeles de filtro, trapos, guantes sucios u otras materias impregnables o impregnadas no se tirarán al recipiente de basuras normales, ya que al estar impregnados se consideran *residuo especial*.
- No está permitido comer ni beber ya que existe la posibilidad de que los alimentos o bebidas se hayan contaminado con productos peligrosos.
- Hay que lavarse siempre las manos después de manipular los productos o residuos y antes de salir del laboratorio o almacén.
- Está prohibido fumar en los laboratorios y en los almacenes, por razones higiénicas y de seguridad.
- No inhalar, probar u oler productos o residuos si no se está debidamente informado.

Por lo que respecta a la manipulación de productos químicos se ha de tener en cuenta los siguientes aspectos:

Los productos químicos pueden ser peligrosos por sus propiedades tóxicas, corrosivas, inflamables o explosivas.

- Todos los productos químicos han de ser manipulados con mucho de cuidado. El peligro más grande es el FUEGO. La mayoría de productos químicos orgánicos quedan en presencia de una llama, particularmente los disolventes, que son altamente inflamables. Se ha de evitar la presencia de llamas abiertas siempre que sea posible.
- No inhalar los vapores de los productos o residuos y trabajar siempre que sea posible en vitrinas extractoras, especialmente al manipular productos tóxicos, irritantes, corrosivos o lacrimógenos.
- Evitar el contacto de los residuos con la piel especialmente de los que son tóxicos o corrosivos. En estos casos se recomienda la utilización de guantes de un sólo uso.
- No coger nunca un residuo de un recipiente no etiquetado.

2.8. MEDIDAS ESPECÍFICAS

2.8.1. ACCIDENTES PERSONALES. PRIMEROS AUXILIOS

Los lugares de trabajo dispondrán de material para primeros auxilios en caso de accidente. Las características y cantidad de material necesario dependerán del número de trabajadores, de los riesgos a que estén expuestos y de la proximidad o no de centros de asistencia médica.

El material de primeros auxilios se revisará periódicamente y se irá reponiendo tan pronto como caduque o sea utilizado.

Las actuaciones que se han de realizar en caso de emergencias son:

A) INCENDIOS Y QUEMADURAS:

- Si el fuego es pequeño y localizado apagarlo utilizando un extintor adecuado, arena o cubriendo el fuego con un recipiente de tamaño adecuado que lo ahogue. Retirar los productos o residuos químicos inflamables que se encuentren alrededor. No utilizar nunca agua para extinguir un fuego provocado por la inflamación de un disolvente.
- Si el fuego es grande, aislarlo. Utilizar los extintores adecuados y, si no puede ser controlado rápidamente accionar la alarma de fuego, avisar al servicio de extinción de incendios y evacuar el edificio.
- Si se te enciende la ropa llamar inmediatamente para pedir ayuda. Estírate en el suelo y rueda sobre ti mismo para apagar las llamas. No se ha de correr ni intentar llegar a la ducha de seguridad si no se está cerca de ella. Es responsabilidad de cada uno ayudar a alguien que se está quemando. Cubrirlo con una manta anti-fuego, conducirlo hasta la ducha de seguridad si ésta está cerca o hacerlo rodar por el suelo.
- Una vez el fuego esté apagado, mantener la persona echada, procurando que no se enfríe y proporcionarle asistencia médica.
- Las pequeñas quemaduras producidas por material caliente, baños, placas o mantas calefactoras, etc., se tratarán lavando la zona afectada con agua fría durante 10-15 minutos. Las quemaduras más graves requieren atención médica inmediata. No utilizar cremas y pomadas grasas.

B) CORTES:

- Los cortes producidos por la rotura de material de vidrio son un riesgo común. Estos cortes se han de lavar bien, con agua. Si son pequeños y pronto dejan de sangrar lavarlos con agua y jabón, desinfectando la herida con antisépticos no coloreados y dejarla secar al aire o taparla con un vendaje o apósito estéril adecuado. Si son grandes y no paran de sangrar requerir asistencia médica inmediata.

C) CONTACTO CON PRODUCTOS QUÍMICOS:

- Todo producto químico derramado sobre la piel ha de ser lavado de forma inmediata con bastante agua corriente, como mínimo durante 15 minutos. Las duchas de seguridad serán utilizadas en aquellos casos en los que la zona del cuerpo afectada sea grande y no haya suficiente con el lavado en una pica. Se le debe quitar a la persona afectada toda la ropa contaminada tan pronto como sea posible mientras esté bajo la ducha. Recordar que la rapidez en el lavado es muy importante para reducir la gravedad y la extensión de la herida. Proporcionar asistencia médica a la persona afectada.

- Si se producen corrosiones en la piel por ácidos, cortar lo más pronto posible la ropa empapado de ácido. Lavar con bastante agua corriente la zona afectada, y requerir asistencia médica.
- Si se producen corrosiones en la piel por álcalis, lavar la zona afectada con bastante agua corriente y requerir asistencia médica.
- Si se producen corrosiones en los ojos, el tiempo de reacción es esencial (menos de 10 segundos). Cuanto más pronto se lave el ojo, menos grave será el daño producido. Lavar ambos ojos con bastante agua corriente durante 15 minutos como mínimo en un lavaojos, y si no hay, con un frasco lavaojos. Se ha de mantener el ojo abierto con ayuda de los dedos para facilitar el lavado debajo de los párpados. Se ha de recibir siempre asistencia médica, por pequeña que parezca la lesión.
- Si se produce la inhalación de productos químicos, conducir inmediatamente la persona afectada a un lugar con aire fresco. Requerir asistencia médica tan pronto como sea posible.
- Al primer síntoma de dificultad respiratoria iniciar la respiración artificial boca a boca. El oxígeno ha de ser administrado únicamente por personal entrenado. Continuar la respiración artificial hasta que el médico lo aconseje.
- Tratar de identificar el vapor tóxico. Si se trata de un gas utilizar el tipo adecuado de máscara para gases durante el tiempo que dure el rescate del accidentado.

2.8.2. ACCIDENTES POR DERRAMES DE PRODUCTOS

Para poder actuar en caso de accidente o derrame se dispondrá de material adsorbente y de unas instrucciones para realizar los primeros auxilios.

Para actuar en caso de derrame se deberá disponer, entre otros, del siguiente equipo de trabajo:

- guantes de goma fuertes
- botas de agua o chanclos
- mascarillas adecuadas a la sustancia, producto o preparado
- gafas de protección
- delantales
- escoba y recogedores para el polvo
- pinzas para recoger trozos de vidrio
- bayetas, trapos y servilletas de papel
- cubos
- ceniza de sosa o bicarbonato sódico para neutralizar ácidos
- arena
- detergente no inflamable
- productos adsorbentes

Los derrames se neutralizarán de la siguiente manera:

- Lo primero que se ha de hacer en caso de derrame o fuga es cortarlo.
- Seguidamente se recogerán y/o neutralizarán los productos derramados con productos adsorbentes o productos que los puedan neutralizar, siguiendo las instrucciones de las fichas de seguridad de los productos derramados o los procedimientos establecidos.

Otras medidas a tener en cuenta serán:

1. Notificar al responsable de seguridad y evacuar al personal no indispensable del local.

2. Si el material derramado es inflamable, se han de extinguir todas las llamas, cortar el gas del local y de los locales adyacentes y cortar la electricidad de los equipos que puedan producir chispas.

En caso de ser un derrame importante se deberán extremar las medidas antes mencionadas y ponerse en contacto con el responsable de la gestión de los residuos por si se ha de dar aviso a personal cualificado interno o externo.

Una vez pasada la emergencia se procederá a realizar la investigación del accidente o incidente para aclarar las causas del mismo.

2.9. FORMACIÓN E INFORMACIÓN

El personal que tenga que gestionar los residuos deberá tener una información y formación básica sobre residuos en general y una específica sobre los residuos generados en su centro o lugar de trabajo.

La *información* que se deberá dar al personal que realice las tareas relacionadas con la gestión de residuos incluirá, como mínimo los siguientes apartados:

- las recomendaciones específicas con relación a su peligrosidad y otros factores que puedan afectar a las características del propio residuo;
- la legislación de aplicación, tanto en el ámbito general como local;
- el contenido de las fichas de seguridad y de las indicaciones de peligro y de manejo de las sustancias y productos (frases R y S) que utilicen.

Se deberán tomar las medidas adecuadas para que los trabajadores sean informados de todas las medidas que deban ser tomadas en referencia a la utilización de la señalización de seguridad y de salud en el trabajo.

Por lo que respecta a los equipos de protección individuales, y de acuerdo con el Real Decreto 773/1997 (BOE de 30 de mayo de 1997), los trabajadores deberán ser informados de los riesgos contra los que los protegen, así como de las actividades o ocasiones en las que se han de utilizar. Así mismo, se les deberán proporcionar, preferentemente por escrito, las instrucciones sobre la forma correcta de utilizarlos y mantenerlos.

El manual de instrucciones o la documentación informativa facilitados por el fabricante deberán estar a disposición de los trabajadores.

La información deberá ser comprensible para los trabajadores.

Se deberá proceder a la *formación general* que abarcará los conceptos básicos sobre seguridad y salud en el trabajo, riesgos generales y su prevención, elementos básicos de gestión de la prevención de riesgos, seguridad industrial, primeros auxilios.

Esta formación les ha de permitir saber:

- cómo reconocer un producto peligroso
- qué precauciones han de tener
- cómo reaccionar en caso de accidente

La *formación específica* debería tener como objetivo conocer los riesgos específicos del lugar de trabajo y su prevención; seguridad del producto, el uso de los procedimientos más adecuados en la manipulación, tratamiento, recuperación o eliminación de los residuos.

Igualmente deberá contemplar el adiestramiento sobre la correcta manipulación de los elementos de transporte de los residuos.

Se deberán organizar sesiones de adiestramiento para la utilización de los equipos de protección individual, especialmente cuando sea requerida la utilización simultánea de varios equipos de protección individual que por su especial complejidad así lo haga necesario.

Por lo que respecta a la manipulación manual de cargas, los trabajadores deberán recibir una formación y información adecuadas sobre los riesgos derivados de la manipulación manual de cargas, así como sobre las medidas de prevención y protección que sean de aplicación.

Concretamente, se deberá proporcionar a los trabajadores una formación y información adecuada sobre la forma correcta de manipular las cargas y de los riesgos que corren de no hacerlo de esta forma.

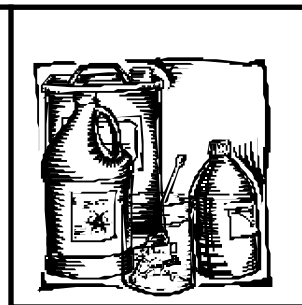
2.10. NORMAS BÁSICAS DE ACTUACIÓN

- No comer, ni beber, ni fumar, ni guardar alimentos cuando se manipulen residuos.
- Emplear gafas, guantes, máscaras y ropa adecuada.
- Si se llevan los cabellos largos, atarlos o aún mejor, llevarlos dentro de una gorra.
- Señalizar siempre todos los residuos que se generen.
- Ordenar las zonas y espacios de trabajo, para evitar riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

- AFCAP (1996): Manual de seguridad y salud laboral. Ed. Generalitat de Catalunya.
- BENAVIDES, F.G.; RUIZ FRUTOS, C. y GARCÍA GARCÍA, A.M^a. (1997): Salud laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales. Masson, S.A.
- BERNABEI, D. (1994): Seguridad: Manual para el laboratorio. Ed. E. Merck.
- CISS Gestión (1995): Manual para la prevención de riesgos laborales. Ed. CISS, S.A.
- DT. CEPREVEN (1989): Manual de autoprotección: guía para el desarrollo del plan de emergencia contra incendios y de evacuación en los locales y edificios. Ed. CEPREVEN.
- FREMAP: Seguridad en el trabajo. Monográficos. Ed. FREMAP.
- Fundación MAPFRE (1992): Manual de seguridad en el trabajo. De. Mapfre.
- HUICI MONTAGUD, A. (1985): Absorción de tóxicos. Documentos técnicos, 42:85. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- II EUROPEAN FORUM (1994): Science and Safety. Universitat de Barcelona, 1994.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1989): Radiaciones no ionizantes. Prevención de riesgos. Ed. INSHT.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1990): Seguridad en el Trabajo. Ed. INSHT.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1992): Seguridad y condiciones de trabajo en el laboratorio. Ed. INSHT.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1994): Higiene Industrial. Ed. INSHT.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1995): Manejo de productos citostáticos. Ed. INSHT.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1997): Riesgos en la utilización de botellas de gases. Ed. INSHT.
- Legislación básica aplicable (ver capítulo 9).
- Massachusetts Institute of Technology (1996): Chemical Hygiene Plan and Safety Manual. Department of Chemistry.
- NADAL ALBIOL, N. (1985): La manipulación de productos químicos potencialmente cancerígenos en los laboratorios. Documentos técnicos, 43:86. Ed. I.N.S.H.T.
- Notas técnicas de prevención. Diversos autores. Barcelona, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 1982-.....
- PANREAC (1997): Seguridad en los laboratorios químicos. Panreac Química, S.A.
- University of sheffield (1994): Health and safety. Code of practice.

3. GESTIÓN Y TRATAMIENTO INTRACENTRO DE RESIDUOS QUÍMICOS



3.1. INTRODUCCIÓN

La actividad docente e investigadora en los laboratorios de ciencias experimentales tiene un fuerte impacto ambiental, ya no en términos cuantitativos (el volumen de residuos especiales representa aproximadamente un 3 % de la totalidad de los residuos producidos por la actividad humana) sino desde una perspectiva cualitativa.

Los residuos especiales y concretamente los residuos químicos que se generan en los laboratorios y centros similares, debido a sus características físico-químicas pueden tener asociado un alto grado de peligrosidad. Por esto los laboratorios que emplean este tipo de productos requieren una gestión específica para evitar daños a la salud de las personas y al medio ambiente.

La legislación establece que las operaciones de gestión son responsabilidad del productor del residuo.

Al igual que sucede con otros tipos de residuos, también la gestión de los residuos químicos del laboratorio debe incluir operaciones encaminadas a la minimización de la producción (por ejemplo, ajustando el stock de reactivos a las necesidades y reutilizando los residuos de unos procesos como materia prima en otros procesos); a la promoción de la recogida selectiva de los residuos y a la optimización de los métodos de eliminación (elección de la solución técnicamente más correcta).

La clasificación y caracterización de los residuos especiales es un aspecto clave en su gestión. Un programa de gestión de residuos químicos del laboratorio y mientras se espera su entrega al gestor autorizado, tiene que establecer procedimientos de trabajo que incluyan los siguientes puntos:

- Clasificación y segregación de los residuos según tipología, propiedades físico-químicas, las posibles reacciones de incompatibilidad y el tratamiento final.
- Recogida selectiva (tipo de envases, etiquetado, almacenamiento temporal).
- Normas de seguridad para la manipulación, transporte y almacenamiento.

En julio de 1998, cerca de Barcelona, en Montmeló concretamente, entró en funcionamiento una planta de tratamiento de residuos especiales que permite tratar y recuperar los residuos especiales de pequeños productores y los procedentes del consumo doméstico generados en pequeñas cantidades (menos de una tonelada). En esta planta pueden recibir tratamiento, entre otros, residuos de clínicas y hospitales, estudios fotográficos, talleres de grabado de metal y vidrio, laboratorios de análisis clínicos y los generados en los laboratorios de los centros de investigación.

3.2. CLASIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS

La clasificación de los residuos en diferentes grupos se basa en su composición y pretende facilitar la posterior gestión de los residuos por las empresas tratadoras. Los grupos propuestos, en función de la cantidad que cada laboratorio genera, se pueden modificar.

Una posible clasificación es la que se expone en la nota técnica de prevención (NTP 480-1998) que separa los residuos en 7 grandes grupos:

Grupo I: disolventes halogenados. Se trata de los productos líquidos orgánicos que contienen más de un 2% de algún halógeno. Están en este grupo el cloruro de metileno y el bromoformo.

Grupo II: disolventes no halogenados. Se incluye aquí los líquidos orgánicos inflamables con menos de un 2% en halógenos. Por ejemplo: alcoholes, aldehídos, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y nitrilos.

Grupo III: disoluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos. Es un grupo muy amplio y es imprescindible establecer subdivisiones. Los 2 subgrupos más importantes son:

1. Soluciones acuosas inorgánicas
 - Soluciones básicas: hidróxido sódico, hidróxido potásico.
 - Soluciones de metales pesados: níquel, plata, cadmio, selenio, fijadores.
 - Soluciones de cromo VI.
 - Otras soluciones acuosas inorgánicas: reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros.
2. Soluciones acuosas orgánicas o con DQO (Demanda Química de Oxígeno) elevada
 - Soluciones colorantes.
 - Soluciones con fijadores orgánicos: formol, fenol, glutaraldehído.
 - Mezclas agua/disolvente: eluyentes cromatográficos, metanol/agua.

Grupo IV: ácidos. Forman este grupo los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen).

Grupo V: aceites. Constituido por los aceites minerales derivados de las operaciones de mantenimiento y si se da el caso, de baños calefactores.

Grupo VI: sólidos. En este grupo se incluyen los materiales en estado sólido tanto orgánicos como inorgánicos y el material desechable contaminado. Los reactivos sólidos caducados no pertenecen a este grupo. Se establecen 3 subgrupos:

1. Sólidos orgánicos: por ejemplo, el carbón activo o el gel de sílice impregnados con disolventes orgánicos.
2. Sólidos inorgánicos como por ejemplo las sales de los metales pesados.
3. Material desechable contaminado con productos químicos.

Grupo VII: Especiales. Forman parte de este grupo los productos químicos sólidos o líquidos que por su elevada peligrosidad no han sido incluidos en ninguno de los 6 anteriores y no se pueden mezclar entre sí. Ejemplos:

Comburentes (peróxidos).
Compuestos pirofóricos (magnesio metálico en polvo).
Compuestos muy reactivos: ácidos fumantes, cloruros de ácidos, metales alcalinos, compuestos peroxidables, etc.
Compuestos muy tóxicos (tetraóxido de osmio, mezcla crómica, cianuros, sulfuros, etc).
Compuestos no identificados.
También en este grupo se incluyen los reactivos puros obsoletos o caducados.

Cada grupo de residuos, en función de la naturaleza y de la cantidad que se genera, debe envasarse en bidones o en recipientes separados.

Todo envase de residuos peligrosos ha de estar correctamente etiquetado (indicando su contenido) e identificado (indicando el productor). La identificación incluye los datos de la empresa productora, la referencia de la unidad (nombre, clave o similar), el nombre del responsable del residuo y las fechas indicando cuándo se empieza y se acaba de llenar el recipiente.

Además de los datos mencionados, es conveniente utilizar una etiqueta de color diferente para cada grupo. La etiqueta, siguiendo lo establecido en el RD 833/88, tiene que incluir la siguiente información:

- Pictogramas e indicaciones de peligro, siguiendo las instrucciones del anexo II del RD 363/93.
- Riesgos específicos de las sustancias, con una o dos frases R, según el anexo III del citado Real Decreto.
- Los consejos de prudencia que correspondan, con las frases S (anexo IV del RD).
- Un espacio en blanco donde el productor del residuo hará constar el principal componente tóxico o peligroso.

3.3. INFORMACIÓN ADICIONAL

Este capítulo, a parte de la exposición de las normas generales e ineludibles en la gestión de los residuos químicos que se producen habitualmente en un laboratorio, recopila también un conjunto de métodos de tratamiento de agentes químicos que pueden utilizarse para eliminar las características peligrosas de una amplia variedad de productos.

Los métodos recogidos se basan principalmente en:

- procesos de neutralización
- procesos de oxidación
- procesos de precipitación, floculación y decantación
- procesos de concentración y deshidratación
- procesos de hidrólisis

A parte de la información expuesta y para algunas familias de productos, también se han recopilado unas pautas de comportamiento para hacer frente a vertidos accidentales en el laboratorio.

La utilización de operaciones de degradación y de inertización de sustancias va encaminada a eliminar sus características peligrosas para la salud y para el medio ambiente.

La aplicación de estas reacciones se considera oportuna en situaciones excepcionales, no pudiéndose considerar como una solución a aplicar para el tratamiento de sustancias residuales habituales del laboratorio. Así pues, los métodos de destrucción no sustituyen a los procedimientos generales de gestión de residuos especiales.

Para hacer una descripción de métodos de degradación de agentes químicos hay que agrupar los productos con características químicas similares y después, considerar a escala individual los que tienen más riesgos adicionales. La mayoría de los procedimientos que se describen a continuación han estado comprobados internacionalmente, y se dirigen a técnicos o personas calificadas que tengan experiencia de laboratorio y que conozcan el fundamento químico de la destrucción.

La seguridad en el manejo y en la eliminación de productos químicos peligrosos es un requisito esencial para trabajar con estas sustancias y por esto es mejor no proceder si no se está familiarizado con los peligros potenciales y la química de los materiales que se han de destruir y los reactivos a utilizar.

ESTAS TÉCNICAS DE NEUTRALIZACIÓN O DE DESTRUCCIÓN SÓLO SE PUEDEN APLICAR A CANTIDADES PEQUEÑAS DE PRODUCTO, POR PERSONAL COMPETENTE Y CON EL MATERIAL NECESARIO.

DEBIDO A QUE ALGUNOS DE ESTOS PRODUCTOS SON MUY REACTIVOS O MUY TÓXICOS, LA EJECUCIÓN DE ESTAS TÉCNICAS EN MALAS CONDICIONES O POR PERSONAL SIN EXPERIENCIA PUEDE SER EXTREMADAMENTE PELIGROSA

3.4. PROPIEDADES IDEALES DE LA TÉCNICA DE DESTRUCCIÓN

El procedimiento ha de ser sencillo y fácil de realizar en el laboratorio y se debe de poder aplicar tanto a materiales sólidos o líquidos como a disoluciones en diversos solventes.

- Es conveniente intentar destruir los productos químicos peligrosos en el lugar donde han sido generados, ya que esto comporta muchas ventajas. Es importante considerar las propiedades deseables de la técnica de destrucción.
- Ha de eliminar la característica peligrosa de un residuo químico.
- La destrucción del producto químico ha de ser completa.
- Es necesario que todos los productos obtenidos de la destrucción del residuo sean inocuos (si esto no se consigue es necesario evaluar el riesgo químico o biológico de los productos de descomposición).
- Es necesario poder evaluar la efectividad del proceso de destrucción analíticamente y por un método sencillo.
- El equipamiento y los reactivos tienen que estar disponibles y han de ser baratos, sencillos y seguros en su utilización.
- El proceso de destrucción no tiene que necesitar operaciones elaboradas (como por ejemplo destilaciones y extracciones), sino operaciones rápidas y fáciles de realizar (diluciones, lavados, filtraciones, precipitaciones).
- El método de destrucción tiene que ser aplicable a situaciones reales dentro del laboratorio; es decir, tiene que ser capaz de destruir tanto el compuesto en estado original como las soluciones del compuesto y sus derrames.

Estas propiedades caracterizan un proceso de destrucción ideal. La mayoría de los métodos no pueden cumplir todos estos criterios, los cuales representan una meta que se debería intentar alcanzar.

3.4.1. INFORMACIÓN APORTADA EN CADA PROCEDIMIENTO DE DESTRUCCIÓN

La descripción de cada procedimiento en general aporta la información siguiente:

- Una introducción describe las diversas propiedades del compuesto o de las clases de compuestos que se consideran.
- Los detalles de los principios de la destrucción, en términos generales, proporcionan la química de los procedimientos de destrucción, los productos que se obtienen y la eficacia de la destrucción.
- Los procedimientos de destrucción pueden ser subdivididos en procedimientos para sólidos, para soluciones en agua, para soluciones en disolventes orgánicos y otros.
- Los procedimientos para compuestos relacionados describen otros compuestos sobre los cuales se pueden aplicar los procedimientos de destrucción explicados. Los procedimientos de destrucción no han sido validados para estos productos, pero, de todas formas, han de ser investigados antes de ser utilizados.

3.5. PROCEDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS EN EL MISMO LABORATORIO

3.5.1. ÁCIDOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS Y SUS DISOLUCIONES

Peligrosidad y principio de la destrucción

Los ácidos inorgánicos fuertes, como por ejemplo el ácido clorhídrico (HCl), el ácido bromhídrico (HBr), el ácido yodhídrico (HI), el ácido nítrico (HNO_3), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el ácido sulfúrico (H_2SO_4), son agentes corrosivos fuertes que afectan las proteínas de los tejidos celulares. La gravedad de las lesiones depende de la concentración del ácido, de la temperatura y del tiempo de contacto. Por otro lado, los aerosoles de estos ácidos provocan intensas irritaciones del aparato respiratorio.

La destrucción de estas sustancias se basa en la neutralización con una base inorgánica: bicarbonato de sodio (NaHCO_3), carbonato de sodio (Na_2CO_3), hidróxido de sodio (NaOH) o de potasio (KOH), etc.

Procedimiento de destrucción

En un recipiente amplio que contenga un exceso de disolución acuosa de NaOH del 10% en peso y a temperatura ambiente, se vierte lentamente y con agitación el ácido a destruir (si se trata de un ácido concentrado se ha de diluir previamente vertiéndolo con precaución sobre 5 volúmenes de agua fría). Es conveniente controlar la temperatura al principio de la adición, porque la reacción es exotérmica. La mezcla resultante, que ha de tener pH básico, se vierte entonces en pequeñas porciones sobre un gran exceso de agua. Después de ajustar el pH entre 6 y 8, si es necesario utilizando solución diluida de ácido sulfúrico, la disolución resultante se puede eliminar por el desagüe.

Para eliminar derrames de ácidos inorgánicos fuertes, se debe cubrir la superficie contaminada con un exceso de bicarbonato de sodio sólido. La reacción es exotérmica y se produce una fuerte efervescencia. El residuo resultante se vierte en pequeñas porciones sobre un gran exceso de agua, se lleva hasta a pH 6-8 y se vierte al desagüe.

Estas operaciones se han de realizar con la protección adecuada: gafas de seguridad, guantes de caucho y pantalla protectora (en caso de reacción muy violenta).

En general, los ácidos orgánicos más habituales, cuyas sales sódicas son solubles en agua, se pueden tratar de la forma anteriormente descrita. Dentro de esta categoría se incluyen los tipos de ácidos orgánicos siguientes:

- ácidos carboxílicos de cadena corta (fórmico, acético, propiónico, butírico, valérico, acrílico, metacrílico, pirúvico, etc.),
- ácidos halogenocarboxílicos de cadena corta (mono-, di- y tricloroacético, trifluoroacético, etc.; ver también la sección 4.3.7.),
- ácidos sulfónicos de cadena corta (RSO_3H),
- ácidos fosfónicos ($\text{RPO}(\text{OH})_2$),
- ácidos borónicos ($\text{RB}(\text{OH})_2$).

Los ácidos de elementos peligrosos, como por ejemplo los ácidos de arsénico ($\text{RAsO}(\text{OH})_2$) y de antimonio ($\text{RSbO}(\text{OH})_2$), se separan, se guardan en los recipientes adecuados y se envían a vertederos controlados.

El ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno (HCN) es un gas inflamable, explosivo y extremadamente tóxico: la inhalación de 270 ppm de cianuro de hidrógeno es mortal en 5 minutos. Además, el ácido cianhídrico se absorbe rápidamente por las mucosas. Para destruir en el laboratorio soluciones acuosas o etanólicas de ácido cianhídrico, se pueden utilizar las técnicas descritas en la sección 3.5.17 para los cianuros, teniendo cuidado de basificar (pH igual o superior a 10) la solución.

El ácido fluorhídrico o fluoruro de hidrógeno (HF) es un gas extremadamente corrosivo que provoca heridas necróticas difícilmente cicatrizables. La mejor manera de destruir una solución acuosa de ácido fluorhídrico es mediante precipitación en forma de fluoruro de calcio (CaF_2) por adición de una solución de hidróxido de calcio (cal apagada o cal muerta), o de carbonato de calcio. El fluoruro de calcio resultante se elimina como residuo sólido (ver la destrucción de los fluoruros, sección 3.5.34).

El ácido oxálico es un compuesto corrosivo que provoca quemaduras internas por ingestión; además, es relativamente tóxico (la dosis mortal por ingestión de ácido oxálico oscila entre los 5 y los 15 g). El ácido oxálico y los oxalatos se pueden destruir por calefacción con ácido sulfúrico concentrado, pero este procedimiento es muy peligroso (se libera monóxido de carbono, extremadamente tóxico) y por lo tanto no es recomendable. Resulta mucho más seguro precipitarlos en una solución acuosa tratada con un exceso de solución acuosa de cloruro de calcio. El precipitado de oxalato de calcio se aísla por filtración y se elimina con los residuos sólidos.

3.5.2. BASES INORGÁNICAS, SALES BÁSICAS Y SUS DISOLUCIONES

Principio de la destrucción

Las bases inorgánicas, como por ejemplo el hidróxido de litio (LiOH), el hidróxido de sodio (NaOH), el hidróxido de potasio (KOH), el amoníaco acuoso ($\text{NH}_3\text{aq.}$, NH_4OH), y las sales de hidrólisis básica, como por ejemplo el carbonato de potasio (K_2CO_3), el carbonato de sodio (Na_2CO_3) y el amoníaco, se tienen que neutralizar con una disolución diluida de ácido sulfúrico o de ácido clorhídrico. Para destruir cal viva (CaO) o cal apagada (Ca(OH)_2) es mejor utilizar ácido clorhídrico, porque el sulfato de calcio es insoluble.

Procedimiento de destrucción

a) Diluir con agua, en relación 1:5, y neutralizar hasta pH 6-8, añadiendo lentamente una disolución al 50% de ácido sulfúrico. Se diluye la disolución obtenida a 1:10 y se vierte por el desagüe con un exceso de agua.

b) En un recipiente amplio que contenga una solución fría de ácido clorhídrico de concentración 6 mol L^{-1} (solución al 50%), se vierte lentamente y con agitación la base a eliminar. Cuando el pH está cercano a la neutralidad, se detiene la adición y la solución resultante se vierte por el desagüe con un exceso de agua.

Para eliminar derrames, se recubre la superficie contaminada con un exceso de solución al 50% de ácido clorhídrico o de ácido sulfúrico. El residuo resultante se diluye con agua, se neutraliza si es necesario y se vierte al desagüe.

3.5.3. HIDROCARBUROS

Dentro del amplio grupo de los hidrocarburos se incluyen alcanos, alquenos, alquinos y arenos. Son compuestos que queman con facilidad y se pueden eliminar por incineración o con una fuente de energía suplementaria. Todos estos compuestos suelen considerarse peligrosos a causa de su inflamabilidad; sólo se pueden depositar en un vertedero controlado en pequeñas cantidades, que pueden empaquetarse en el mismo laboratorio. Como son insolubles en agua, no deben verterse nunca por el desagüe.

Algunos alquenos (los cíclicos, como por el ejemplo el ciclohexeno) pueden formar peróxidos explosivos al ser almacenados durante un largo período de tiempo en contacto con el aire. Las muestras antiguas tienen que ser examinadas mediante el test de detección de peróxidos, y deben ser tratadas adecuadamente si estos están presentes.

3.5.4. DISOLVENTES HALOGENADOS

Un cierto número de hidrocarburos halogenados son utilizados a menudo como disolventes en el laboratorio, como por ejemplo: el cloruro de metileno (CH_2Cl_2), el cloroformo (CHCl_3), el tetracloruro de carbono (CCl_4), el tetracloroetileno ($\text{CCl}_2=\text{CCl}_2$), el 1,1-dicloroetano (CCl_2HCH_3), el 1,2-dicloroetano ($\text{CClH}_2\text{CClH}_2$), el 1,1,1-tricloroetano (CCl_3CH_3), el 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano ($\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$), el clorobenceno (ClC_6H_5), y el orto-diclorobenceno ($1,2\text{-Cl}_2\text{C}_6\text{H}_4$). La mayoría de estos hidrocarburos halogenados son bastante tóxicos y tienen que ser transportados prudentemente y eliminados en cantidades de laboratorio, en recipientes etiquetados como DISOLVENTES HALOGENADOS.

Para eliminar otros hidrocarburos halogenados que son importantes reactivos de laboratorio, como por ejemplo el cloruro de tert-butilo, el cloruro de benzilo, el bromuro de etilo, el yoduro de metilo, el bromobenceno, el yoduro de metileno, el 1,2-dibromoetano y el cloruro de alilo, ver la sección 3.5.7.

Proceso de destrucción

Estos compuestos utilizados en cantidades de disolvente son candidatos a ser recuperados por destilación. Si no se pueden recuperar por destilación, y se encuentran en muy pequeña cantidad, es necesario mezclarlos con Na_2CO_3 o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e incinerarlos en una vitrina de gases o en un horno de combustión. Su baja solubilidad en agua y su toxicidad hace que incluso en cantidades trazas sean inaceptables en el alcantarillado.

En el caso del tetracloruro de carbono la incineración no es recomendable a causa de la formación de fosgeno, cloruro de hidrógeno y otros gases tóxicos al ser calentado. El cloroformo debe mezclarse con un combustible, como puede ser el queroseno, y se debe incinerar con precaución previniendo la formación o emisión de fosgeno.

Idealmente el o-diclorobenceno debe ser eliminado en un incinerador químico con las precauciones adecuadas y en combinación con alcohol o acetona, para limitar la formación de humos. También puede ser tratado por descomposición mediante ciertas bacterias anaerobias.

El método preferido (el más utilizado) para eliminar el 1,1-dicloroetano y el 1,2-dicloroetano es la incineración. Con motivo de la formación de fosgeno durante el proceso de combustión, se debe trabajar a pequeña escala y diluir con queroseno o un otro combustible, a causa de elevado contenido en cloro. También se puede evaporar en áreas de seguridad y con las debidas precauciones y teniendo en cuenta los límites de emisión a la atmósfera.

3.5.5. HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS

Son un grupo numeroso de compuestos orgánicos que tienen una estructura que incluye dos o más anillos bencénicos, aunque pueden tener algún anillo no aromático. Los procesos que los hacen más contaminantes son los de ingestión, de inhalación y de absorción cutánea. Se ha descrito la destrucción de los hidrocarburos aromáticos policíclicos siguientes:

Benz(a)antraceno	BA
Benzo(a)pireno	BP
7-Bromometilbenz(a)antraceno	BrMBA
Dibenz(a,h)antraceno	DBA
7,12-Dimetilbenz(a)antraceno	DMBA
3-Metilcolantreno	3-MC

Como hidrocarburos que son, pueden ser incinerados o enviados a un vertedero controlado. A pesar de todo, los HAP o mezclas que los contienen se han de empaquetar separadamente y deben ser etiquetados adecuadamente para que los operarios puedan trabajar sin estar expuestos a peligros adicionales.

Estos compuestos son generalmente sólidos de alto punto de fusión ($> 120^{\circ}\text{C}$), solubles en la mayoría de los disolventes orgánicos (benceno, tolueno, ciclohexano, acetona, dimetilformamida (DMF), dimetilsulfóxido (DMSO)), ligeramente solubles en alcoholes, pero sólo solubles en agua a escala de miligramo por litro. Los compuestos indicados anteriormente pueden producir cáncer en animales de experimentación. Aunque no existe evidencia directa que puedan causar cáncer en humanos, se sabe que el alquitrán del carbón y otros materiales relacionados son cancerígenos en humanos y pueden contener estos hidrocarburos, por lo que deben ser tratados como potenciales cancerígenos humanos. Los compuestos BP, DMBA y 3-MC son teratógenos. Los HAP son ampliamente utilizados en los laboratorios de investigación oncológica, y se encuentran también en el medio ambiente como productos de combustión.

Principio de la destrucción

Los HAP de la tabla se pueden destruir por oxidación con permanganato potásico (KMnO_4) en medio de H_2SO_4 o por disolución en H_2SO_4 concentrado. Los productos de estas reacciones no han sido determinados, pero la eficacia de la destrucción es $> 99\%$ en cada caso.

También se pueden destruir por tratamiento con una disolución recientemente preparada de dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en ácido sulfúrico concentrado. Este procedimiento se ha de realizar a pequeña escala, dado que tiene potenciales peligros de derrames y salpicaduras al trabajar con grandes cantidades de disolución de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en H_2SO_4 .

Procedimientos de destrucción

Destrucción de sólidos

A. Por cada 5 mg de HAP añadir 2 mL de acetona y asegurarse que el hidrocarburo está disuelto completamente, incluyendo el que pueda quedar adherido a las paredes del recipiente. Por cada 5 mg de HAP añadir 10 mL de disolución de KMnO_4 de concentración $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ en una disolución de H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} (preparada recientemente), agitar la mezcla y permitir que reaccione durante 1 h. El color púrpura se mantendrá durante todo el tiempo de la reacción. Si no es así, añadir más KMnO_4 hasta que la mezcla de reacción se mantenga púrpura durante como mínimo 1 h. Al final de la reacción decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla por el desagüe con exceso de agua.

Nota: utilizar como mínimo 1 mL de acetona y 10 mL de KMnO_4 .

B. Por cada 5 mg de HAP añadir 2 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) y asegurarse que el hidrocarburo está completamente disuelto, incluyendo el que pueda quedar adherido a las paredes del recipiente. Por cada 5 mg de HAP añadir 10 mL de H_2SO_4 concentrado (proceso exotérmico), agitar la mezcla y permitir que reaccione durante al menos 2 h. Al final de la reacción añadir con precaución la disolución sobre al menos tres veces el volumen de agua fría (utilizando si es preciso un baño de hielo, ya que se trata de un proceso exotérmico), neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

C. Se prepara una disolución de concentración $0,27 \text{ mol L}^{-1}$ de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a partir de 20 g de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 10 mL de agua y añadir gradualmente H_2SO_4 al 96% hasta a un volumen de 250 mL. Gradualmente y agitándolo se añade 1 g de HAP a temperatura ambiente hasta llegar a la disolución total, y se deja la disolución durante 2 días. La disolución, libre del agente cancerígeno, se vierte cuidadosamente en 1 L de agua en agitación, tratada con 84 g de hidrógeno sulfito de sodio (NaHSO_3) para reducir el exceso de Cr(VI) a Cr(III) y se lleva a $\text{pH} > 7$ con una disolución de hidróxido de sodio para precipitar el Cr como hidróxido de Cr (III) ($\text{Cr}(\text{OH})_3$).

Destrucción de HAP en disolventes orgánicos (a excepción de DMSO y DMF)

A. Eliminar el disolvente por evaporación bajo presión reducida. Por cada 5 mg de HAP añadir 2 mL de acetona y comprobar que el hidrocarburo esté completamente disuelto, incluyendo el que pueda quedar adherido en las paredes del recipiente. Por cada 5 mg de HAP añadir 10 mL de disolución de KMnO_4 de concentración $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ en una disolución de H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} (preparada recientemente), agitar la mezcla y permitir que reaccione durante 1 h. El color púrpura se mantendrá durante todo el tiempo de la reacción. Si no es así, añadir más KMnO_4 hasta que la mezcla de reacción se mantenga púrpura durante 1 h. Al final de la reacción decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Nota: utilizar como mínimo 1 mL de acetona y 10 mL de KMnO_4

B. Eliminar el disolvente por evaporación bajo presión reducida. Por cada 5 mg de HAP añadir 2 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) y asegurarse que el hidrocarburo esté completamente disuelto, incluyendo el que pueda quedar adherido a las paredes del recipiente. Por cada 5 mg de HAP añadir 10 mL de H_2SO_4 concentrado (proceso exotérmico), agitar la mezcla y permitir que reaccione durante al menos 2 h. Al final de la reacción añadir con precaución la disolución sobre al menos tres veces el volumen de agua fría (utilizando un baño de hielo si es necesario, ya que se trata de un proceso exotérmico), neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de HAP en dimetilformamida (DMF)

Por cada 10 mL de disolución en DMF añadir 10 mL de agua y 20 mL de ciclohexano, agitar y separar las fases formadas. Extraer la fase acuosa dos veces más con ciclohexano (2x20 mL). Juntar las fases de ciclohexano y eliminar el disolvente por evaporación bajo presión reducida. Por cada 5 mg de HAP añadir 2 mL de acetona y asegurarse que el hidrocarburo esté completamente disuelto, incluyendo el que pueda quedar adherido en las paredes del recipiente. Por cada 5 mg de HAP añadir 10 mL de disolución de KMnO_4 de concentración $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ en una disolución de H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} (preparada recientemente), agitar la mezcla y permitir que reaccione durante 1 h. El color púrpura se mantendrá durante todo el tiempo de la reacción. Si no es así, añadir más KMnO_4 hasta que la mezcla de reacción se mantenga púrpura durante 1 h. Al final de la reacción decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Nota: utilizar como a mínimo 1 mL de acetona y 10 mL de KMnO_4

Destrucción de HAP en dimetilsulfóxido (DMSO)

A. Por cada 10 mL de disolución en DMSO añadir 10 mL de agua y 20 mL de ciclohexano, agitar y separar las fases formadas. A partir de aquí se procede como en el apartado anterior.

Nota: utilizar como mínimo 1 mL de acetona y 10 mL de KMnO_4

B. Diluir la disolución con más DMSO si fuese necesario, hasta que la concentración de HAP no exceda de $2,5 \text{ mg mL}^{-1}$. Por cada 5 mg de HAP añadir 10 mL de H_2SO_4 concentrado (proceso exotérmico), agitar la mezcla y permitir que reaccione durante al menos 2 h. Al final de la reacción añadir con precaución la disolución sobre al menos tres veces el volumen de agua fría (utilizando un baño de hielo si es necesario, ya que se trata de un proceso exotérmico).

co), neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de HAP en agua

Debido a que estos compuestos son bastante insolubles en este medio, sólo cantidades de trazas suelen estar presentes. Añadir KMnO_4 hasta llegar a una disolución de concentración $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ i el H_2SO_4 que sea necesario para hacer una disolución de concentración 3 mol L^{-1} , agitar la mezcla y permitir que reaccione durante 1 h. El color púrpura se mantendrá durante todo el tiempo de la reacción. Si no es así, añadir más KMnO_4 hasta que la mezcla de reacción se mantenga púrpura durante 1 h. Al final de la reacción decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de HAP en un aceite

Por cada 5 mL de disolución de aceite añadir 20 mL de 2-metilbutano y 20 mL de acetonitrilo, agitar durante al menos 1 min en un embudo de decantación (controlando la presión) y permitir que las fases formadas se separen. Extraer la fase superior (fase de hidrocarburo) con cuatro porciones de 20 mL de acetonitrilo. Si fuese necesario, añadir una porción de 10 mL más de 2-metilbutano después de la segunda extracción, para evitar la inversión de las fases provocada por la evaporación del 2-metilbutano. Juntar las fases de acetonitrilo y lavarlas con 20 mL de 2-metilbutano (separando los lavados), y entonces eliminar el disolvente por evaporación bajo presión reducida. Por cada 5 mg de HAP añadir 2 mL de acetona y asegurarse que el hidrocarburo esté completamente disuelto, incluyendo el que pueda quedar adherido en las paredes del recipiente. Por cada 5 mg de HAP añadir 10 mL de disolución de KMnO_4 de concentración $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ en una disolución de H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} (preparada recientemente), agitar la mezcla y permitir que reaccione durante 1 h. El color púrpura se mantendrá durante todo el tiempo de la reacción. Si no es así, añadir más KMnO_4 hasta que la mezcla de reacción se mantenga púrpura durante 1 h. Al final de la reacción decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Nota: utilizar como mínimo 1 mL de acetona y 10 mL de KMnO_4 .

Compuestos relacionados

Aunque estos procedimientos han sido validados para los compuestos nombrados anteriormente, se pueden aplicar a otros HAP.

3.5.6. CARBURO DE CALCIO

El carburo de calcio (CaC_2) se utiliza en el laboratorio para generar acetileno. El carburo de calcio reacciona con pequeñas cantidades de agua para generar acetileno y, si se realiza de forma incontrolada, pueden formarse mezclas explosivas acetileno-aire.

Principio de la destrucción

La descomposición bajo condiciones controladas genera acetileno (que es aireado en una vitrina) y cloruro de calcio en disolución.



Procedimiento de destrucción

En un balón de tres bocas (2 L) equipado con agitación, embudo de adición y entrada de nitrógeno formar una suspensión de 50 g de CaC_2 en 600 mL de tolueno o ciclohexano. Enfriar el balón con un baño de hielo y pasar corriente de nitrógeno a flujo moderado. Dar salida al acetileno que se genera a través de un tubo colocado en la vitrina. Añadir ácido clorhídrico (300 mL, concentración 6 mol L^{-1}) gota a gota a través de un embudo de adición durante unas 5 h. Agitar la mezcla una hora más, neutralizar la fase acuosa, separar las fases y verter la fase acuosa al desagüe con un exceso de agua. La fase orgánica se almacena con los disolventes no halogénidos.

3.5.7. COMPUESTOS ORGÁNICOS HALOGENADOS

La mayoría de los compuestos peligrosos, como por ejemplo los pesticidas y los PCB, contienen átomos de halógeno. No se han descrito demasiados procesos adaptables a la degradación de estos compuestos en el laboratorio, aunque se han realizado más estudios con compuestos modelo. Los procesos validados están disponibles para los compuestos siguientes:

Yodometano	p.e. 41-43°C
2-cloroetanol	p.e. 129°C
2-bromoetanol	p.e. 56-57°C a 20 mm Hg
Hidrocloreuro de 2-cloroetilamina	p.f. 143-146°C
Hidrobromuro de 2-bromoetilamina	p.f. 172-174°C
Ácido 2-cloroacético	p.f. 62-64°C
Ácido 2,2,2-tricloroacético	p.f. 54-56°C
1-clorobutano	p.e. 77-78°C
1-bromobutano	p.e. 100-104°C
1-yodobutano	p.e. 130-131°C
2-bromobutano	p.e. 91°C
2-yodobutano	p.e. 119-120 °C
2-bromo-2-metilpropano	p.e. 72-74°C
2-yodo-2-metilpropano	p.e. 99-100°C
3-cloropiridina	p.e. 148°C
Clorobenceno	p.e. 132°C
Bromobenceno	p.e. 156°C
Yodobenceno	p.e. 188°C
2-cloroanilina	p.e. 208-210°C
3-cloroanilina	p.e. 230°C
2-cloronitrobenceno	p.f. 33-35°C
3-cloronitrobenceno	p.f. 42-44°C
4-cloronitrobenceno	p.f. 83-84°C
Cloruro de bencilo	p.e. 177-181°C
Bromuro de bencilo	p.e. 198-199°C
/ / -diclorotolueno	p.e. 82°C a 10 mm Hg
1-clorodecano	p.e. 223°C
1-bromodecano	p.e. 238°C

La mayoría de estos compuestos son líquidos volátiles y los sólidos también pueden tener una apreciable presión de vapor. En general, la 2-cloroetilamina y la 2-bromoetilamina se encuentran en forma de sales no volátiles de hidrocloreuro y hidrobromuro, pero es previsible que las bases libres sean volátiles. Muchos de estos compuestos son corrosivos por contacto con la piel. El yodometano es un fuerte narcótico y anestésico; el 2-cloroetanol es un teratógeno y puede afectar el sistema nervioso, el hígado, el bazo y los pulmones; la 2-cloroetil-

amina puede polimerizar explosivamente; el ácido cloroacético es corrosivo por contacto con la piel, los ojos y las membranas mucosas; el ácido tricloroacético es corrosivo y irrita la piel, los ojos y las membranas mucosas; el 2-bromobutano es un narcótico a elevada concentración; el clorobenceno es un teratógeno y sus vapores pueden provocar sueño e inconsciencia; el yodobenceno explota al calentarlo por encima de 200°C; el 3-cloronitrobenceno es un veneno y puede dar lugar a cianosis y cambios en la sangre; el cloruro de bencilo es un irritante corrosivo de la piel, los ojos y las membranas mucosas y se puede descomponer explosivamente bajo determinadas circunstancias; el bromuro de bencilo y el / / -diclorotolueno son lacrimógenos, intensos irritantes de la piel y pueden provocar, a grandes dosis, depresión. Las cloroanilinas y los cloronitrobencenos son tóxicos por inhalación, por contacto con la piel y por ingestión. Los compuestos halogenados pueden reaccionar violentamente y explosivamente con metales alcalinos, como por ejemplo el sodio y el potasio. Estos compuestos no son solubles en agua, con la excepción del 2-cloroetanol, el 2-bromoetanol, la 2-cloroetilamina, la 2-bromoetilamina, el ácido cloroacético, el ácido tricloroacético y la 3-cloropiridina. El yodometano es ligeramente soluble en agua. Todos son solubles en alcoholes y disolventes orgánicos.

El yodometano, el cloruro de bencilo, el / / -diclorotolueno, el 2-bromoetanol, el 1-iodobutano, el 2-bromobutano, el 2-iodobutano, el 2-bromo-2-metilpropano, el clorobenceno, el 2-cloronitrobenceno y el 4-cloronitrobenceno son cancerígenos en animales de experimentación.

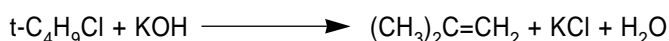
Principios de la destrucción

Los compuestos halogenados son deshalogenados reductivamente con una aleación de Ni-Al en base diluida para dar los compuestos correspondientes sin el halógeno. Cuando los productos de la reducción son solubles en agua el rendimiento del proceso es elevado, pero cuando no es así (por ejemplo, tolueno en el caso del cloruro de bencilo) hay pérdidas de la disolución y la estimación de la extensión del proceso no es completa. El producto de deshalogenación reductiva de los cloronitrobencenos es la anilina (reducción concomitante del grupo nitro) y el producto principal (87% de rendimiento) de la reducción de la 3-cloropiridina es la piperidina (reducción concomitante del anillo de piridina del producto inicial). En general, cuando el producto de partida puede ser detectado por Cromatografía, < 1% se conserva. El 1-bromodecano, el 1-clorodecano y el 1-clorobutano no pueden ser degradados por este procedimiento, ya que son demasiado insolubles al disolvente, y en estos casos se utiliza metanol acuoso.

El yodometano, el cloruro de bencilo, el 2-cloroetanol, el 2-bromoetanol, el ácido cloroacético, el 1-clorodecano, el 1-bromodecano, el 1-bromobutano, el 1-iodobutano, el 2-bromobutano, el 2-iodobutano, el 2-bromo-2-metilpropano y el 2-iodometilpropano son completamente degradados por reflujo en disolución etanólica de hidróxido de potasio de concentración 4,5 mol L⁻¹ durante 2 h, y el 1-clorobutano es completamente degradado después de un reflujo de 4 h. Los productos de descomposición son los correspondientes éteres de etilo. El / / -diclorotolueno presenta una destrucción incompleta después de un reflujo de 4 h; la 2-bromoetilamina y la 2-cloroetilamina dan residuos mutagénicos; los 2, 3, y 4-cloronitrobenceno son completamente degradados, pero dan productos que no han sido aun identificados totalmente, si bien parece que incluyen compuestos azo y azoxi.



Para cada grupo adicional hidrolizable del compuesto tratado se debe utilizar un equivalente adicional de hidróxido de potasio. Reacciones competitivas como por ejemplo la formación de etil éteres o la deshidrohalogenización también destruyen el haluro orgánico. La deshidrohalogenización se ha convertido en la principal reacción de los haluros terciarios para generar olefinas.



Procedimientos de destrucción

Con aleación Ni-Al (no sirve para el 1-bromodecano, el 1-clorodecano y el 1-clorobutano)

Se disponen 0,5 mL del compuesto halogenado (ó 0,5 g si es un sólido) en 50 mL de agua (ácido cloroacético, ácido tricloroacético, 2-cloroetanol, 2-bromoetanol, 2-cloroetilamina y 2-bromoetilamina) o metanol (otros compuestos) y se añaden 50 mL de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 2 mol L⁻¹. Se agita la mezcla y se añaden 5 g de aleación Ni-Al en porciones para evitar la excesiva formación de espuma. La mezcla de reacción se deja en agitación toda la noche, y a continuación se filtra a través de Celite. Una vez se ha comprobado en el filtrado que la destrucción ha sido completa, se neutraliza y se vierte al desagüe con exceso de agua. Se debe comprobar que el filtrado contiene material deshalogenado.

Se coloca el Ni gastado durante 24 h en una bandeja metálica y se deja secar lejos de disolventes inflamables. Se elimina como residuo sólido.

Con una disolución etanólica de hidróxido de potasio (no sirve para la 2-cloroetilamina, la 2-bromoetilamina, el ácido tricloroacético, la 3-cloropiridina, el clorobenceno, el bromobenceno, el yodobenceno, el / -diclorotolueno, las cloroanilinas o los cloronitrobencenos)

Se utiliza un balón de tres bocas equipado con agitador, refrigerante, embudo de adición y manta calefactora. Se trata 1 mL del compuesto halogenado con 25 mL de disolución etanólica de hidróxido de potasio de concentración 4,5 mol L⁻¹, y se refluje la mezcla con agitación durante 2 h (4 h para el 1-clorobutano). Se enfría la mezcla y se diluye con al menos 100 mL de agua. Se separan las fases si es el caso, se comprueba que la destrucción ha sido completa, se neutraliza y se vierte al desagüe con exceso de agua. Si los productos de la reacción son solubles en agua, la mezcla se diluye con 300 mL de agua, se enfría a temperatura ambiente, se neutraliza y se vierte al desagüe con 50 volúmenes de agua. (Preparar la disolución etanólica de hidróxido de potasio por disolución de 79 g (1,2 moles) de KOH en 315 mL de etanol al 95%). Cuando se destruyen haluros volátiles (por ejemplo yodometano) es importante dejar enfriar la mezcla de potasa etanólica completamente antes de añadirla sobre el haluro.

Compuestos relacionados

Se ha descrito la deshalogenación de muchos compuestos con aleación de Ni-Al. De todas formas, aunque los productos están identificados, no se ha descrito que los productos iniciales sean totalmente degradados. Así, estos procedimientos no se pueden considerar como válidos. Basándose en los resultados descritos anteriormente, parece probable que la aleación Ni-Al sea aplicable en general a la deshalogenación reductiva de los compuestos halogenados, con destrucción completa del material de partida. Las únicas excepciones de los compuestos estudiados son el 1-clorobutano, el 1-clorodecano y el 1-bromodecano, presumiblemente porque son insolubles en un medio de metanol acuoso. La validación se ha de hacer antes de que alguno de estos compuestos sea rutinariamente degradado por la aleación Ni-Al.

Los compuestos que son deshalogenados reductivamente, con buenos rendimientos, a los correspondientes compuestos sin el halógeno son: el 4-clorofenol, la 2-clorohidroquinona, el 2,4,5-triclorofenol, el 2,4,6-tribromofenol, el ácido 5-cloroisoftálico, el ácido 4-fluorobenzoico, el ácido 2-cloro-5-fluorobenzoico, el ácido 2-clorobenzoico, el ácido 3,4-diclorobenzoico, el ácido 4-bromobenzoico, el ácido 2,4-diclorobenzoico, el ácido 2-clorofenilacético, el ácido 4-bromofenilacético, el ácido 3,4-diclorofenilacético, el ácido 2,4-diclorofenilacético, el ácido 4-(4-cloro-3-metilfenil)butírico, el ácido 4-(4-cloro-2-metilfenil)butírico y el ácido 4-clorofenoxiacético.

El reflujo de disolución etanólica de KOH puede ser utilizado para degradar algunos haluros. El procedimiento es deficiente para algunos compuestos, particularmente para aquellos que tienen átomos de halógeno no reactivos. Por tanto, parece que no tiene la amplia aplicabilidad de la aleación Ni-Al, pero puede ser aplicado a otros haluros. De todas formas, se ha de realizar la validación completa antes de utilizarlo como procedimiento habitual.

Idealmente el clorobenceno se puede eliminar en un incinerador químico con las debidas precauciones en combinación con alcohol o acetona, para limitar la formación de humos.

3.5.8. ALCOHOLES Y FENOLES

Los alcoholes son utilizados extensamente como disolventes y reactivos de laboratorio. Pueden ser incinerados, quemados con una fuente de energía suplementaria o dispuestos en un vertedero controlado. La mayoría de los alcoholes habituales son solubles en agua, tienen baja toxicidad, son rápidamente biodegradados y pueden verterse al desagüe con un exceso de agua.

Los fenoles tienden a ser más tóxicos que los alcoholes. Son irritantes de la piel y algunos son alergógenos. Pueden ser incinerados o dispuestos en un vertedero controlado. Muchos fenoles, especialmente el fenol y sus derivados monosustituídos, son degradados de una forma eficiente por sistemas de tratamiento biológico. Debido a que los fenoles que están en el agua que va a parar a una planta de tratamiento son clorados a clorofenoles (y dan un mal gusto al agua) es necesario que no se permita la presencia de fenoles en las fuentes de agua potable.

Las disoluciones acuosas que contienen bajas concentraciones de fenoles se pueden filtrar a través de carbón activado, que absorbe los fenoles.

Pequeñas cantidades de fenoles pueden ser destruidas en el laboratorio con peróxido de hidrógeno en presencia de Fe catalítico; el anillo fenólico es degradado para dar fragmentos inofensivos.

Procedimientos de destrucción

Se prepara una disolución de 47 g (0,5 moles) de fenol en 750 mL de agua en un balón de tres bocas de 2 L equipado con agitador, embudo de adicción y termómetro. Se añaden 23,5 g (0,085 moles) de $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ que se disuelven en la mezcla, y el pH se ajusta entre 5-6 con H_2SO_4 diluido. Se añaden gota a gota 410 mL (4,0 moles) de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% con agitación durante 1 h (es importante seguir este orden en la adicción, ya que si fuese el caso que el H_2O_2 y el H_2SO_4 se mezclasen previamente, podría tener lugar una reacción violenta). Se genera calor y la temperatura de la reacción se mantiene a 50-56°C ajustando el tiempo de adicción y utilizando un baño de hielo si es necesario. Se continúa agitando durante 2 h mientras la temperatura baja gradualmente hasta llegar a la ambiental. Se deja toda la noche y se vierte al desagüe con un gran exceso de agua.

Compuestos relacionados

Este procedimiento puede aplicarse a muchos fenoles, incluyendo los cresoles, monoclorofenoles y naftoles. Puede ser necesaria más agua para disolverlos. Por ejemplo, 0,5 moles de cresol requieren 2,5 L de agua.

3.5.9. ÉTERES

Los éteres son, en general, compuestos volátiles y fácilmente inflamables, y no son bioacumulables en la mayor parte de los casos. Los monoéteres de cadena abierta, tanto alifáticos como aromáticos, son relativamente no tóxicos y sólo tienen la característica peligrosa

de su ignibilidad. Por esto no son candidatos a la destrucción en el laboratorio. Excepto el dietiléter (Et_2O), no son suficientemente solubles en agua para eliminarlos por el alcantarillado. De todas formas el Et_2O no se puede verter al alcantarillado a causa de su bajo punto de ebullición (35°C).

Muchos éteres pueden formar peróxidos al ser expuestos al aire, y su destrucción se trata en un apartado diferenciado.

Algunos poliéteres macrocíclicos (éteres corona) son bastante tóxicos y se pueden destruir en pequeñas cantidades con $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en H_2SO_4 .

Los epóxidos son potentes agentes alquilantes y muchos son altamente tóxicos. Los grupos epóxido pueden ser destruidos por hidrólisis alcalina.

Procedimiento de destrucción

Pequeñas cantidades de Et_2O pueden evaporarse en una vitrina si el éter está libre de peróxidos o contiene un inhibidor, evitando la formación de mezclas combustibles de vapor/aire, y manteniéndolo lejos de llamas abiertas u otras fuentes de inflamación. El Et_2O puede ser también mezclado con al menos 10 volúmenes de disolvente con un punto de ebullición más elevado para incinerarlo.

3.5.10. HALOÉTERES

El clorometilmetiléter (CMME, $\text{ClCH}_2\text{OCH}_3$) y el bis(clorometil)éter (BCME, $\text{ClCH}_2\text{OCH}_2\text{Cl}$) son dos líquidos volátiles incoloros que tienen puntos de ebullición de 59°C y 104°C respectivamente. Pueden provocar cáncer en animales de experimentación. El CMME puede ser un cancerígeno humano, mientras que el BCME lo es. El CMME en general contiene alguna cantidad de BCME, y por esto es necesario que las condiciones empleadas para degradar el CMME también degradan completamente el BCME. Estos compuestos se utilizan industrialmente en síntesis orgánica y también pueden formarse cuando se mezclan HCHO y HCl .

Principio de la destrucción

Tanto el CMME como el BCME pueden ser degradados por reacción con una disolución de amoníaco acuoso (NH_3), fenóxido de sodio y metóxido de sodio. La eficacia de la degradación es $\gg 99\%$ en todos los casos. La reacción con el fenóxido de sodio y el metóxido de sodio produce éteres y cloruro de sodio.

Procedimientos de destrucción

Destrucción de cantidades sólidas de CMME y BCME

A. Disolver las cantidades sólidas en acetona hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL^{-1} y añadir el mismo volumen de disolución de NH_3 al 6%. Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción ha sido completa, neutralizar con H_2SO_4 de concentración 2 mol L^{-1} y verter la mezcla al desagüe con exceso de agua.

B. Disolver las cantidades sólidas en metanol hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL^{-1} . Por cada 1 mL de disolución, añadir 3,5 mL de disolución de fenóxido de sodio en metanol (15% peso/volumen). Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción sea completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

C. Disolver las cantidades sólidas en metanol hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL^{-1} . Por cada 1 mL de disolución, añadir 1,5 mL de disolución de metóxido de sodio en metanol (8-9% peso/volumen). Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción sea completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Dstrucción de CMME y BCME en metanol, etanol, dimetilsulfóxido (DMSO), dimetilformamida (DMF) y acetona

A. Disolver, si es necesario, hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL⁻¹. Añadir el mismo volumen de disolución de NH₃ al 6%. Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción sea completa, neutralizarla con H₂SO₄ de concentración 2 mol L⁻¹ y verterla al desagüe con exceso de agua.

B. Disolver, si es necesario, hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL⁻¹. Por cada 1 mL de disolución, añadir 3,5 mL de disolución de fenóxido de sodio en metanol (15% peso/volumen). Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción sea completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

C. Disolver, si es necesario, hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL⁻¹. Por cada 1 mL de disolución, añadir 1,5 mL de disolución de metóxido de sodio en metanol (8-9% peso/volumen). Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción sea completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Es necesario ir con precaución ya que este procedimiento no se puede utilizar en presencia de agua o de cloroformo (reacción violenta).

Dstrucción de CMME y BCME en pentano, hexano, heptano y ciclohexano

A. Disolver, si es necesario, hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL⁻¹. Añadir un volumen igual de disolución de NH₃ al 33% y agitar la mezcla con un agitador mecánico durante al menos 3 h. Analizar que la destrucción sea completa, neutralizarla con H₂SO₄ de concentración 2 mol L⁻¹ y verterla al desagüe con exceso de agua.

B. Disolver, si es necesario, hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL⁻¹. Por cada 1 mL de disolución, añadir 3,5 mL de disolución de fenóxido de sodio en metanol (15% peso/volumen). Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción sea completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

C. Disolver, si es necesario, hasta que la concentración no exceda de 50 mg mL⁻¹. Por cada 1 mL de disolución, añadir 1,5 mL de disolución de metóxido de sodio en metanol (8-9% peso/volumen). Dejar reaccionar durante 3 h, analizar que la destrucción sea completa y verterla al desagüe con exceso de agua. Es necesario ir con cuidado ya que este procedimiento no se puede utilizar en presencia de agua o de cloroformo (reacción violenta).

Compuestos relacionados

Estos métodos de destrucción puede esperarse que sean aplicables a compuestos de fórmula general ROCH₂Cl, pero las comprobaciones no han sido llevadas a cabo. La aplicación de estos métodos ha de ser corroborada antes de emprender un ciclo rutinario.

3.5.11. AMINAS AROMÁTICAS PRIMARIAS (PROCEDIMIENTO GENÉRICO)

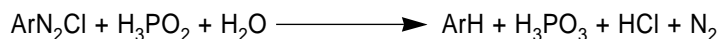
Las aminas alifáticas y aromáticas se utilizan principalmente como intermedios de síntesis. Algunas aminas terciarias, como por ejemplo la piridina y la trietilamina, se utilizan como disolventes o catalizadores. No se pueden mezclar con residuos ácidos.

Las aminas aromáticas son compuestos relativamente tóxicos y muchas tienen un efecto adverso en la hemoglobina.

Principio de la destrucción

Las aminas aromáticas primarias pueden ser desaminadas a los correspondientes arenos, que son menos tóxicos, por diazoación seguida por reducción con ácido hipofosforoso (H₃PO₂).





El procedimiento siguiente utiliza mucho más exceso de ácido nitroso y ácido hipofosforoso que la mayoría de las preparaciones de diazocompuestos descritos en la bibliografía, ya que el objetivo es la desaminación completa, más que la síntesis de un producto puro con alto rendimiento.

Procedimiento de destrucción

En un balón de tres bocas de 1 L de capacidad, equipado con agitador, termómetro y embudo de adición, se añaden 25 mL de agua, 75 mL de HCl al 36% y 0,2 moles de amina primaria aromática. La temperatura se mantiene entre -25°C y 0°C con un baño de hielo mientras 25 g (0,211 moles) de nitrito sódico (NaNO_2) al 97% se disuelven en 35 mL de agua y se añaden gota a gota a la disolución del hidrocloreuro de amina. Después de que la adición haya finalizado se mantiene la agitación durante 30 minutos más. Manteniendo la temperatura entre -5°C y 0°C, se añaden 416 mL (4,0 moles) de H_3PO_2 al 50% (enfriado previamente a 0°C) en 10-15 minutos. La agitación se continua durante 1 h. La mezcla se mantiene a temperatura ambiente durante 24 h y entonces se extrae con tolueno (2 x 100 mL). Los extractos orgánicos del producto de desaminación se eliminan como residuos con los disolventes no halogenados, y la fase acuosa se vierte al desagüe con un exceso de agua.

3.5.12. AMINAS AROMÁTICAS

Las aminas aromáticas constituyen un grupo de productos químicos ampliamente utilizados en síntesis orgánica. Muchas han presentado efectos cancerígenos en animales de experimentación, y de algunas se piensa que son cancerígenos humanos. El 4-aminobifenil (4-ABP), la bencidina (Bz) y la 2-naftilamina (2-NAP) son cancerígenos humanos y animales, y la 3,3'-diclorobencidina (DCIB), la 3,3'-dimetoxibencidina (DMoB), el bis(4-amino-3-clorofenil)metano (MOCA), la 3,3'-dimetilbencidina (DMB) y el 2,4-diaminotolueno (TOL) provocan cáncer en animales de experimentación. La diaminobencidina (DAB) es sospechosa de provocar cáncer en animales de experimentación. La 3,3'-diclorobencidina puede provocar cáncer en seres humanos. En definitiva, la bencidina y sus derivados son cancerígenos.

Todos estos compuestos son sólidos cristalinos y generalmente son escasamente solubles en agua fría, son más solubles en agua caliente y son muy solubles en ácidos y disolventes orgánicos. Algunos se utilizan en la industria química. Se utilizan también en laboratorios y en investigación médica, por ejemplo como reactivos de tinte y analíticos.

Principio de la destrucción

Las aminas aromáticas pueden ser oxidadas con KMnO_4 en H_2SO_4 . Los productos de la reacción no han sido identificados. Las aminas aromáticas también pueden ser eliminadas de una solución utilizando peroxidasa de rábano picante en presencia de H_2O_2 . La enzima cataliza la oxidación de la amina aromática en un radical. Estos radicales se difunden en la solución y polimerizan. Los polímeros son insolubles y precipitan en la solución. Aunque la solución resultante no es mutagénica, el polímero precipitado sí que lo es y por esto el método sólo se recomienda para el tratamiento de grandes cantidades de soluciones acuosas que contengan pequeñas cantidades de aminas aromáticas. En todos los casos la destrucción es > 99%. Hace poco se ha comprobado que los procedimientos antes comentados se pueden aplicar a la diaminobencidina. También se ha encontrado que cantidades residuales de H_2O_2 en el procedimiento de la peroxidasa de rábano picante producen una respuesta mutagénica, y que la mutagenicidad puede ser eliminada por adición de una solución de ácido ascórbico (que reduce el H_2O_2) a las mezclas finales de reacción.

Los procedimientos que comportan diazoación para la descomposición del diazo compuesto han sido descritos en el apartado anterior.

Procedimientos de destrucción

Destrucción de aminas aromáticas sólidas y en disolventes orgánicos

Las disoluciones de aminas aromáticas en disolventes orgánicos se evaporan en sequedad bajo presión reducida. Las aminas aromáticas se disuelven como se indica a continuación:

Se disuelven 9 mg de bencidina (Bz), 3,3'-diclorobencidina (DCIB), 3,3'-dimetilbencidina (DMB), 3,3'-dimetoxibencidina (DMoB), diaminobencidina (DAB), 2-naftilamina (2-NAP) o 2,4-diaminotolueno (TOL) en 10 mL de HCl de concentración 0,1 mol L⁻¹; se disuelven 2,5 mg de bis(4-amino-3-clorofenil)metano (MOCA) en 10 mg de H₂SO₄ de concentración 1 mol L⁻¹; se disuelven 2 mg de 4-aminobifenil (4-ABP) en 10 mL de AcOH (ácido acético) glacial; se añaden 2 mg de mezclas de aminas a 10 mL de AcOH glacial. Agitar estas disoluciones hasta que las aminas aromáticas se hayan disuelto completamente, y entonces por cada 10 mL de disolución se añaden 5 mL de KMnO₄ de concentración 0,2 mol L⁻¹ y 5 mL de H₂SO₄ de concentración 2 mol L⁻¹. Se mantiene la mezcla al menos 10 h, y se analiza si la destrucción ha sido completa. Se decolora la mezcla por adicción de ácido ascórbico, se neutraliza y se vierte al desagüe con un exceso de agua.

Destrucción de aminas aromáticas en disolución acuosa

Diluir con agua, si es necesario, hasta que la concentración de MOCA no exceda de 0,25 mg mL⁻¹, la concentración de 4-ABP no exceda de 0,2 mg mL⁻¹, y la concentración de otras aminas no exceda de 0,9 mg mL⁻¹. Por cada 10 mL de disolución se añaden 5 mL de disolución de KMnO₄ de concentración 0,2 mol L⁻¹ y 5 mL de H₂SO₄ de concentración 2 mol L⁻¹. Se mantiene la mezcla en agitación al menos 10 h, y se analiza si la destrucción ha sido completa. Se decolora la mezcla por adicción de ácido ascórbico, se neutraliza y se vierte al desagüe con un exceso de agua.

Destrucción de aminas aromáticas que se encuentran en forma de aceite

Extraer la disolución aceitosa con HCl de concentración 0,1 mol L⁻¹ hasta que todas las aminas sean eliminadas (al menos se necesitan 2 mL de HCl por cada mol de amina). Por cada 10 mL de disolución se añaden 5 mL de disolución de KMnO₄ de concentración 0,2 mol L⁻¹ y 5 mL de H₂SO₄ de concentración 2 mol L⁻¹. Se mantiene la mezcla al menos 10 h, y se analiza si la destrucción ha sido completa. Se decolora la mezcla por adicción de ácido ascórbico, se neutraliza y se vierte al desagüe con un exceso de agua.

Descontaminación de disoluciones acuosas que contienen aminas aromáticas

Este método se recomienda para todas las aminas citadas anteriormente, excepto la 4-ABP y la 2-NAP, en que la destrucción se ha encontrado que es incompleta.

Ajustar el pH de las disoluciones acuosas a 5-7 utilizando el ácido o la base adecuados y diluir hasta que la concentración de aminas aromáticas no exceda de 100 mg mL⁻¹. Diluir las disoluciones en metanol, etanol, dimetilsulfóxido o dimetilformamida con disolución de acetato de sodio (1 g L⁻¹), hasta que la concentración de disolvente orgánico no exceda del 20%, y la concentración de aminas aromáticas no exceda de 100 mg mL⁻¹. Por cada litro de disolución añadir 3 mL de disolución al 3% de H₂O₂ y 300 unidades de peroxidasa de rábano picante. Mantener la mezcla durante al menos 3 h, y eliminar el precipitado por filtración o centrifugación. Por cada litro de filtrado añadir 100 mL de disolución al 5% (peso/volumen) de ácido ascórbico. Comprobar en la disolución que la destrucción ha sido completa y verterla al de-

sagüe con un exceso de agua. El residuo es mutagénico y debe ser tratado como peligroso. Se ha descrito que la posterior oxidación del residuo mediante KMnO_4 en H_2SO_4 produce residuos no mutagénicos. Filtrar la mezcla de reacción a través de un filtro poroso y sumergir este filtro en una mezcla 1:1 (v/v) de disolución de KMnO_4 de concentración $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ y disolución de H_2SO_4 de concentración 2 mol L^{-1} .

Compuestos relacionados

Los procedimientos descritos anteriormente son aplicables a otras aminas aromáticas, pero la validación completa es esencial en cada caso.

3.5.12.1. BROMURO DE ETIDIO

El bromuro de etidio ($\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{Br}$) es un producto muy tóxico y un potente mutágeno que se utiliza principalmente como colorante fluorescente en investigación biológica.

Principio y procedimiento de la descontaminación:

Para descontaminar se utiliza el método de absorción en Amberlite XAD-16, que es una resina de intercambio iónico.

Principio de la destrucción

El bromuro de etidio se degrada por la acción del nitrito sódico y del ácido hipofosforoso. La reacción da lugar al reemplazo parcial de las aminas primarias del bromuro de etidio por hidrógeno. Esta técnica tiene una eficacia $> 99,75\%$ y el producto obtenido es no mutagénico.

Procedimiento de la destrucción

A 100 mL de una solución acuosa de bromuro de etidio de concentración aproximada $0,5 \text{ mg/mL}$, añadir 20 mL de una solución acuosa de ácido hipofosforoso (concentración 5% en peso) y 12 mL de una solución acuosa de nitrito sódico (concentración $0,5 \text{ mol L}^{-1}$). Mezclar durante 20 horas, neutralizar con bicarbonato sódico, y verter al desagüe con un exceso de agua.

Nota: No se recomienda utilizar el hipoclorito sódico para el tratamiento de las soluciones de bromuro de etidio.

3.5.13. 2-METILAZIRIDINA

La 2-metilaziridina es un líquido volátil (p. e. $66-67^\circ\text{C}$) que ha sido descrito como cancerígeno en animales de experimentación. Es un irritante de los ojos, reacciona vigorosamente con materiales oxidantes y puede polimerizar explosivamente. Se utiliza industrialmente como intermedio químico. Es miscible con agua y soluble en etanol. Se denomina también 2-metilazaciclopropano.

Principio de la destrucción

La 2-metilaziridina se reduce con aleación de Ni-Al en disolución de hidróxido de potasio (KOH) para dar una mezcla de isopropilamina y n-propilamina en relación 85:15. La eficacia de la destrucción es $> 99,6\%$.

Procedimiento de destrucción

Disponer la 2-metilaziridina (50 mL, 40,4 mg) en 10 mL de disolución de KOH de concentración 1 mol/L y añadir 0,5 de aleación de Ni-Al (si la reacción se realiza a mayor escala, añadir la aleación en porciones para evitar la excesiva formación de espuma). Agitar la mezcla de reacción durante 18 h, y entonces filtrar a través de Celite. Comprobar en el filtrado que la destrucción haya sido completa, neutralizar y verter al desagüe con exceso de agua. Dejar que el Ni empleado se seque durante 24 h en una bandeja metálica (lejos de la presencia de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido.

Compuestos relacionados

El procedimiento ha de ser aplicable en general a la destrucción de otras aziridinas, pero esto debe ser ratificado cuidadosamente para asegurarse que los compuestos son completamente degradados.

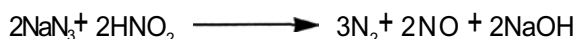
3.5.14. AZIDAS

La azida de sodio (NaN_3) (un conservante habitual en los laboratorios clínicos y un reactivo usual en el trabajo sintético) se puede descomponer ($T_{\text{descomposición}} = 300^\circ\text{C}$) explosivamente al calentarla, y puede formar azidas altamente explosivas y muy sensibles a los golpes cuando se ponen en contacto con metales pesados. Por este motivo las disoluciones de azida de sodio nunca pueden verterse a desagüe. La azida de sodio es también extremadamente tóxica y un poderoso agente mutagénico. El tratamiento con ácidos da lugar a ácido hidrazoico (HN_3); que es explosivo, volátil (p. e. 37°C , tóxico y nunca debe ser aislado. Las disoluciones de ácido hidrazoico en agua, benceno o cloroformo son bastante estables.

Las azidas orgánicas varían mucho en estabilidad, pero está descrito que un número elevado de estas se descomponen explosivamente con el calor y los golpes. Deben ser transportadas muy cuidadosamente y permanecer alejadas de compuestos oxidantes.

Principio de la destrucción

La azida de sodio puede ser descompuesta oxidativamente por reacción con nitrato amónico de cerio (IV) o por reacción con ácido nitroso (HNO_2). La última reacción genera óxidos de nitrógeno tóxicos.



Las azidas orgánicas (por ejemplo la fenilazida, PhN_3) pueden ser reducidas a las sus correspondientes aminas con estaño en ácido clorhídrico (HCl) o con cloruro de estaño (II) en metanol.

Procedimientos de destrucción

A. Por cada gramo de NaN_3 disolver 9 g de nitrato amónico de cerio (IV) en 170 mL de agua. Enfriar la disolución de nitrato amónico cérico en un baño de hielo y agitar. Disolver la azida de sodio en agua y añadirla en porciones a la solución anterior. Cuando la adicción sea completa la mezcla de reacción aun será de color naranja, y añadiendo una pequeña cantidad de nitrato amónico cérico se provocará que la reacción pierda coloración. Agitar la mezcla de reacción durante 1 h y verterla al desagüe con exceso de agua.

B. Disolver NaN_3 (5 g) en como mínimo 100 mL de agua. Agitar la mezcla de reacción y añadir 7,5 g de nitrito de sodio disuelto en 38 mL de agua. Añadir poco a poco ácido sulfúrico

diluido (H_2SO_4 al 20%) hasta que la mezcla de reacción sea ácida. Cuando no se formen más óxidos de nitrógeno, comprobar la mezcla de reacción con papel de yodo-almidón. Si el papel se vuelve azul indica la presencia de exceso de ácido nitroso, y la disolución se vierte al desagüe con exceso de agua. Si el papel no se vuelve azul, añadir más nitrito de sodio.

Nota: es importante añadir primero el nitrito de sodio y seguidamente el ácido sulfúrico.

Si se añaden estos reactivos en el orden inverso se generará ácido hidrazoico, que es explosivo, volátil y tóxico.

Azidas orgánicas

A. Suspender 10,9 g de cloruro de estaño (II) en 40 mL de metanol con agitación, y añadir 4 g (0,03 moles) de azida bencílica gota a gota. Cuando la adicción sea completa, agitar la mezcla de reacción a temperatura ambiente durante 30 min, y entonces disolver con agua, neutralizar y verterla al desagüe.

B. Añadir poco a poco 1 g (0,0084 moles) de fenilazida en una mezcla agitada de 6 g de estaño granulado en 100 mL de HCl concentrado. Agitar la mezcla durante 30 min después de la adicción, y verter la mezcla sobre una gran cantidad de agua fría, neutralizar y verterla al desagüe. El estaño no reaccionado puede ser reciclado o considerado como residuo sólido.

Compuestos relacionados

Los procedimientos descritos anteriormente para la azida de sodio no se deben utilizar para azidas de metales pesados, ya que la mayoría son sensibles y explosivas a los golpes. En estos casos se necesita ayuda profesional. Los procedimientos para azidas orgánicas son aplicables generalmente, aunque en todos los casos se deben validar las reacciones para asegurarnos que las azidas son destruidas completamente. Los productos de estas reacciones son las correspondientes aminas, que pueden ser por ellas mismas productos peligrosos.

3.5.15. HIDRAZINAS

Las hidrazinas constituyen una amplia clase de compuestos que tienen juntos dos átomos de nitrógeno unidos por un enlace sencillo. Tienen la fórmula general $\text{R}_1\text{R}_2\text{NNR}_3\text{R}_4$, donde R_1 , R_2 , R_3 y R_4 pueden ser grupos alquilo, arilo, o hidrógenos. La hidrazina (p.e. 113°C), la 1,1-dimetilhidrazina (p.e. 63°C), la 1,2-dimetilhidrazina (dihidrocloruro, p. f. $167\text{-}169^\circ\text{C}$), la metilhidrazina (p.e. 87°C), la 1,2-difenilhidrazina (p.f. $123\text{-}126^\circ\text{C}$) y la fenilhidrazina (p.e. $238\text{-}241^\circ\text{C}$) pueden provocar cáncer en animales de experimentación.

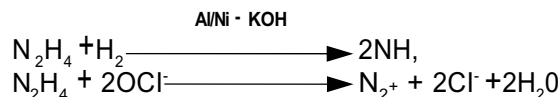
La hidrazina presenta un peligro de explosión bajo ciertas condiciones, incluyendo la destilación en el aire, y puede producir sensibilización en la piel (irritación fuerte de la piel), envenenamiento sistémico y puede producir problemas de hígado y de los glóbulos rojos de la sangre; la metilhidrazina es corrosiva para la piel, los ojos y las membranas mucosas y puede quemar en contacto con el aire; la 1,1-dimetilhidrazina y la 1,2-dimetilhidrazina son peligrosas en presencia de fuego o cuando son expuestas a los oxidantes, y la fenilhidrazina produce una variedad de efectos tóxicos que incluyen dermatitis, anemia y lesiones en el bazo, el hígado, la médula ósea y el riñón, así como también presenta peligro de incendio en presencia de oxidantes.

Las hidrazinas de bajo peso molecular son generalmente líquidos incoloros solubles en agua y disolventes orgánicos. Por su naturaleza básica, la mayoría de las hidrazinas son solubles en ácido. Estrictamente hablando, aquellas hidrazinas con un carbonilo adyacente a uno de los nitrógenos se denominan hidrazidas, aunque se utiliza el término genérico de hidrazina.

Las hidrazinas tienen una amplia utilidad en química orgánica sintética, en los laboratorios de investigación de cáncer y en la industria.

Principio de la destrucción

La hidrazina puede ser degradada por reducción con aleación Ni-Al en disolución de hidróxido de potasio (KOH) o por oxidación con KMnO_4 , en H_2SO_4 , o con hipoclorito de sodio (NaClO).



Los productos de las reacciones de reducción de las hidrazinas sustituidas son las aminas correspondientes (73-100% de rendimiento) con reducción del anillo aromático en caso de que lo tenga.

Los productos de las reacciones de oxidación de las hidrazinas sustituidas no son conocidos. De todas formas está comprobado que la oxidación de las hidrazinas tiene tendencia a producir nitrosaminas altamente cancerígenas como subproductos, particularmente si la 1,1-dimetilhidrazina es el sustrato, ya que produce residuos mutagénicos. Todos los métodos producen > 99% de destrucción de las hidrazinas.

La reducción de la 1,2-difenilhidrazina bajo condiciones ácidas puede dar lugar a benzidina (carcinógena), pero se ha encontrado que la reducción con aleación Ni-Al bajo condiciones básicas no da una cantidad detectable de benzidina (límite de detección: 1% de la cantidad teórica).

Procedimientos de destrucción

Destrucción de cantidades sólidas de hidrazinas

Disolver la hidrazina con agua hasta que la concentración no exceda de 10 mg mL⁻¹. Si la hidrazina no es suficientemente soluble en agua, utilizar metanol como alternativa. Añadir un volumen igual de disolución de KOH (1 M) y agitar la mezcla magnéticamente. Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación Ni-Al de manera que no se forme excesiva espuma. La reacción puede ser bastante exotérmica y se realiza en un recipiente de volumen al menos tres veces más grande que la mezcla final de reacción. Cubrir la mezcla de reacción, agitar durante 24 h, y entonces filtrar a través de Celite. Dejar secar el Ni empleado en una bandeja metálica durante 24 h (lejos de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido. Comprobar que la destrucción ha sido completa en el filtrado, neutralizar y verter al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de hidrazinas en disolución acuosa

Diluir la mezcla con agua si es necesario hasta que la concentración no exceda de 10 mg mL⁻¹. Añadir un volumen igual de disolución de KOH (1M) y agitar la mezcla magnéticamente. Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación de Ni-Al de manera que no se forme excesiva espuma. La reacción puede ser bastante exotérmica y se realiza en un recipiente de volumen al menos tres veces más grande que la mezcla final de reacción. Cubrir la mezcla de reacción, agitar durante 24 h, y entonces filtrar a través de un relleno de Celite. Dejar secar el Ni empleado en una bandeja metálica durante 24 h (lejos de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido. Comprobar que la destrucción ha sido completa en el filtrado, neutralizar y verter al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de hidrazinas en disolventes orgánicos no miscibles con agua (por ejemplo, diclorometano)

Diluir la mezcla con agua si es necesario hasta que la concentración de hidrazina no exceda de 5 mg mL⁻¹. Agitar la mezcla de reacción y añadir un volumen de disolución de KOH

(2 N) y tres volúmenes de metanol (diclorometano:agua:metanol, 1:1:3). Por cada litro de disolución añadir 100 g de aleación de Ni-Al de manera que no se forme excesiva espuma. Añadir un volumen igual de disolución de KOH (1M) y agitar la mezcla magnéticamente. La reacción puede ser bastante exotérmica y se realiza en un recipiente de volumen al menos tres veces más grande que la mezcla final de reacción. Cubrir la mezcla de reacción, agitar durante 24 h, y entonces filtrar a través de un relleno de Celite. Dejar secar el Ni empleado en una bandeja metálica durante 24 h (lejos de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido. Comprobar que la destrucción ha sido completa en el filtrado, neutralizar y verter al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de hidrazinas en alcoholes o en dimetilsulfóxido (DMSO)

Diluir la disolución con agua o etanol si es necesario hasta que la concentración de hidrazina no exceda de 10 mg mL^{-1} . Añadir un volumen igual de disolución de KOH (de concentración 1 mol L^{-1}) y agitar la mezcla magnéticamente. Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación de Ni-Al de manera que no se forme excesiva espuma. La reacción puede ser bastante exotérmica y se realiza en un recipiente de volumen al menos tres veces más grande que la mezcla final de reacción. Cubrir la mezcla de reacción, agitar durante 24 h, y entonces filtrar a través de un relleno de Celite. Dejar secar el Ni empleado en una bandeja metálica durante 24 h (lejos de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido. Comprobar que la destrucción ha sido completa en el filtrado, neutralizar y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de hidrazinas en aceite de oliva y aceite mineral

Por cada volumen de disolución añadir dos volúmenes de éter de petróleo y extraer esta mezcla con un volumen de ácido clorhídrico (HCl) de concentración 1 mol L^{-1} . Extraer la fase orgánica dos veces más con HCl de concentración 1 mol L^{-1} i juntar los extractos. Diluir los extractos, si es necesario, hasta que la concentración de hidrazinas no exceda de 10 mg mL^{-1} . Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación de Ni-Al de manera que no se forme excesiva espuma. La reacción puede ser bastante exotérmica y se realiza en un recipiente de volumen al menos tres veces más grande que la mezcla final de reacción. Cubrir la mezcla de reacción, agitar durante 24 h, y entonces filtrar a través de un relleno de Celite. Dejar secar el Ni empleado en una bandeja metálica durante 24 h (lejos de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido. Comprobar que la destrucción ha sido completa en el filtrado, neutralizar y verterlo al desagüe con exceso de agua.

Compuestos relacionados

Los procedimientos antes descritos se pueden aplicar de manera general a otras hidrazinas.

3.5.16. AMIDURO DE SODIO

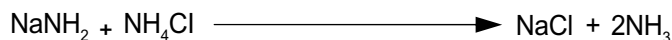
El amiduro de sodio (NaNH_2) es un sólido cristalino, que puede reaccionar explosivamente con el agua, al calentarlo o al moverlo. Puede convertirse en explosivo al almacenarlo, ya que en la superficie se forman productos de oxidación explosivos. Se utiliza en síntesis orgánica. La presencia de productos de oxidación se detecta por el color naranja-marrón, en contraste con el color blanco o gris brillante del amiduro no oxidado.

Procedimiento de destrucción

Sumergir el compuesto en tolueno o queroseno y añadir lentamente etanol al 95% con agitación. El amiduro de sodio se convierte en etóxido de sodio y amoníaco. Cuando la reac-

ción esté completa diluir la mezcla de reacción con agua y verterla al desagüe. Lavar el material contaminado con etanol.

El amiduro decolorado ha de ser descompuesto por el procedimiento hidrocarburo-etanol. Alternativamente, el amiduro de sodio en pequeñas porciones puede ser destruido por agitación con un exceso de NH_4Cl .



Compuestos relacionados

Este procedimiento también es aplicable al amiduro de potasio (KNH_2).

3.5.17. CIANUROS Y BROMURO DE CIANÓGENO

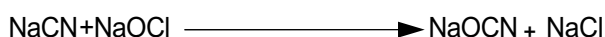
Los cianuros inorgánicos son compuestos extremadamente tóxicos y han de ser transportados con cuidado y evitando que entren en contacto con ácidos, ya que se generaría cianuro de hidrógeno (HCN), que es un gas volátil (p. e. 26%), altamente tóxico (por inhalación, ingestión y absorción a la piel), inflamable y que forma mezclas explosivas con el aire. El contacto con cianuro de una manera extrema es rápidamente fatal; si el contacto es menos extremo produce síntomas como por ejemplo dolor de cabeza y náuseas. Existen evidencias de que es un agente mutagénico potencial, y está probado que puede aumentar los riesgos de mutagénesis y teratogénesis en humanos. Estos compuestos tienen un gran número de utilidades en síntesis orgánica.

El bromuro de cianógeno (CNBr) es un sólido cristalino, volátil y altamente tóxico (p. f. $49-51^\circ\text{C}$). Se utiliza en los laboratorios para la activación de agarosa en cromatografía de afinidad, en análisis de la estructura proteica y para la detección de compuestos de piridina.

Principio de la destrucción

El cianuro de hidrógeno puede ser degradado por dilución con uno o más volúmenes de etanol e incinerando la disolución a continuación.

Los cianuros inorgánicos y el CNBr en pequeñas cantidades son oxidados por NaClO o $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ en disolución básica para dar el ión cianato menos tóxico (relativamente inocuo). Es posible a continuación realizar la posterior hidrólisis del ión cianato.



Procedimientos de destrucción

Destrucción de cantidades sólidas

A. Disolver NaCN o CNBr en agua hasta que la concentración no exceda de 25 mg mL⁻¹ para el NaCN y 60 mg mL⁻¹ para el CNBr . Mezclar un volumen de esta disolución con un volumen de disolución de hidróxido de sodio (NaOH) de concentración 1 mol L⁻¹ y dos volúmenes de disolución de NaClO al 5,25% preparada recientemente (por ejemplo, $\text{NaCN}:\text{NaOH}:\text{NaOCl}$ 1:1:1, v/v/v). Agitar la mezcla durante 3 h, comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar la mezcla y verterla al desagüe con exceso de agua.

B. Disolver NaCN o CNBr en agua hasta que la Concentración no exceda de 25 mg mL⁻¹ para el NaCN y 60 mg mL⁻¹ para el CNBr . Mezclar un volumen de esta disolución con un volumen de disolución de hidróxido de sodio (NaOH) de concentración 1 mol L⁻¹ y añadir 60 g de por litro de disolución basificada. Agitar la mezcla durante 3 h, comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar la mezcla y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de cianuro de sodio o bromuro de cianógeno en disolución

A. Si es necesario diluir la disolución de NaCN con agua hasta que la concentración no exceda de 25 mg mL^{-1} y diluir las disoluciones acuosas de CNBr con agua hasta que la concentración no exceda de 60 mg mL^{-1} . Si es necesario, diluir las disoluciones acuosas de CNBr en disolventes orgánicos con el mismo disolvente orgánico hasta que las concentraciones no excedan de 60 mg mL^{-1} para el acetonitrilo, 30 mg mL^{-1} para el dimetilsulfóxido (DMSO), la dimetilformamida (DMF), el 2-metoxietanol, o el HCl de concentración $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, 25 mg mL^{-1} para el etanol y 19 mg mL^{-1} para la N-metil-2-pirrolidona (NMP). Por cada volumen de disolución añadir un volumen de disolución de NaOH de Concentración 1 mol L^{-1} y dos volúmenes de disolución de NaClO al 5,25% preparada recientemente. Agitar la mezcla durante 3 h, comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar la mezcla y verterla al desagüe con exceso de agua.

B. Si es necesario diluir la disolución de NaCN con agua hasta que la concentración no exceda de 25 mg mL^{-1} y diluir las disoluciones acuosas de CNBr con agua hasta que la concentración no exceda de 60 mg mL^{-1} . Si es necesario, diluir las disoluciones acuosas de CNBr en disolventes orgánicos con el mismo disolvente orgánico hasta que las concentraciones no excedan de 60 mg mL^{-1} para el acetonitrilo, 30 mg mL^{-1} para el dimetilsulfóxido (DMSO), la dimetilformamida (DMF), el 2-metoxietanol, o el HCl $0,1 \text{ M}$, 25 mg mL^{-1} para el etanol y 19 mg mL^{-1} para la N-metil-2-pirrolidona (NMP). Por cada volumen de disolución añadir un volumen de disolución de NaOH de concentración 1 mol L^{-1} y entonces añadir 60 g de Ca(ClO), por litro de disolución basificada. Agitar la mezcla durante 3 h, comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar la mezcla y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de bromuro de cianógeno en ácido fórmico al 70%

A. Diluir la disolución, si es necesario, hasta que la concentración de CNBr no exceda de 60 mg mL^{-1} y basificar la disolución mediante la adición lenta de dos volúmenes de disolución de KOH de Concentración 10 mol L^{-1} (proceso muy exotérmico). Enfriar y por cada volumen de disolución añadir un volumen de NaOH de concentración 1 mol L^{-1} y dos volúmenes de disolución de NaClO al 5,25% preparada recientemente. Agitar la mezcla durante 3 h, comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar la mezcla y verterla al desagüe con exceso de agua.

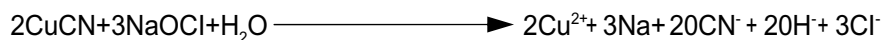
B. Diluir la disolución, si es necesario, hasta que la Concentración de CNBr no exceda de 60 mg mL^{-1} y basificar la disolución mediante la adición lenta de dos volúmenes de disolución de KOH de concentración 1 mol L^{-1} (proceso muy exotérmico). Enfriar y por cada volumen de disolución añadir un volumen de NaOH de concentración 1 mol L^{-1} y 60 g de Ca(ClO), por litro de disolución basificada. Agitar la mezcla durante 3 h, comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar la mezcla y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de cianuro de hidrógeno

En un balón de tres bocas equipado con agitador, termómetro y embudo de adicción, disolver el HCN en algunos volúmenes de agua helada en un baño de hielo, añadir aproximadamente un equivalente molar de disolución de NaOH a $0-10^{\circ}\text{C}$ para convertir el HCN en su sal de sodio (no añadir NaOH, NaCN o cualquier otra base al HCN líquido, ya que puede tener lugar una reacción violenta de polimerización del cianuro de hidrógeno). Añadir un 50% de exceso de disolución de NaCl al 5,25% (concentración $0,75 \text{ mol L}^{-1}$) (80 mL de disolución para cada gramo de HCN) a $0-10^{\circ}\text{C}$ con agitación y dejar que la mezcla se caliente a temperatura ambiente. Después mantener la agitación durante unas horas. Comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar y verterla al desagüe con exceso de agua.

Compuestos relacionados

Estos procedimientos pueden ser aplicables al cloruro de cianógeno (CNCl), al yoduro de cianógeno (CNI) y a otros cianuros inorgánicos, como por ejemplo los cianuros insolubles en Cu(I):



El procedimiento también destruye ferrocianuros solubles. Alternativamente, estos pueden ser precipitados como sales de Fe (II) o Fe (III), para eliminar en un vertedero controlado considerándolos residuos sólidos. Para calcular la cantidad de hipoclorito necesaria, es conveniente recordar los equivalentes adicionales que pueden ser necesarios si el catión metálico puede ser oxidado a un estado de valencia superior.

Estos procedimientos, por el contrario, no son aplicables a los nitrilos orgánicos, los cuales son tratados como grupo independiente.

3.5.18. NITRILOS ORGÁNICOS

El acetonitrilo (p.e. 82°C) utilizado como disolvente habitual en los laboratorios es moderadamente tóxico, produce convulsiones, náuseas y vómitos, y es un conocido compuesto teratígeno. La incineración es el método preferido de eliminación. El cianuro de bencilo (p.e. 233-234°C) puede explotar en contacto con el hipoclorito de sodio. Otros compuestos que se incluyen en este grupo son el 3-etoxipropionitrilo (p.e. 172°C) y el benzonitrilo (p.e. 188 °C).

Principio de la destrucción

Estos compuestos son degradados con aleación Ni-Al en base diluida para dar la correspondiente amina con un 67-68% de rendimiento. La destrucción es > 90% en todos los casos. La reducción con aleación Ni-Al no destruye los cianuros inorgánicos. Estos han de ser degradados como se ha indicado en el apartado 4.3.17. Algunos nitrilos de arilo han sido reducidos a las correspondientes aminas con aleación Ni-Al, pero la destrucción completa de los productos iniciales no ha sido establecida.

Procedimiento de destrucción

Disponer 0,5 g de nitrilo en 50 mL de agua y añadir entonces 50 mL de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 1 mol L⁻¹. Agitar esta mezcla, añadir 5 g de aleación Ni-Al en pequeñas porciones para evitar la formación abundante de espuma. Agitar la mezcla durante toda la noche, y entonces filtrar a través de Celite. Neutralizar el filtrado, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua. Colocar el Ni empleado en una bandeja metálica, y secarlo durante 24 h lejos de la presencia de disolventes inflamables y considerarlo como residuo sólido.

3.5.19. MERCAPTANOS Y SULFUROS INORGÁNICOS

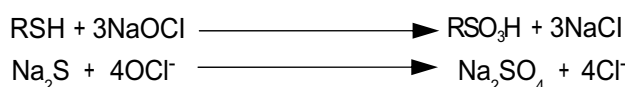
Los mercaptanos son compuestos orgánicos de fórmula general RSH, donde R es un grupo alquilo o arilo. Los compuestos arílicos son también conocidos como tiofenoles. El metilmercaptano es un gas a temperatura ambiente (p.e. 6°C), el etilmercaptano es un líquido de bajo punto de ebullición (p.e. 35°C) y la mayoría de los otros mercaptanos son líquidos (por ejemplo, tiofenol, p.e. 169°C) aunque se conocen algunos sólidos. La mayoría de los líquidos y también algunos sólidos son volátiles y producen un fuerte olor. El metilmercaptano es tóxi-

co por inhalación. El etilmercaptano es irritante de la piel y de los ojos, y puede tener efectos en el sistema nervioso central. El tiofenol es un irritante de los ojos y puede causar dermatitis, dolor de cabeza y mareo. Los mercaptanos son reactivos habituales en síntesis orgánica.

Los sulfuros inorgánicos son sólidos que al ser tratados con un ácido liberan sulfuro de hidrógeno, que es un gas extremadamente tóxico de olor desagradable. El sulfuro de sodio puede explotar con un calentamiento rápido o con los golpes. Estos compuestos son ampliamente utilizados en los laboratorios químicos.

Principio de la destrucción

Los mercaptanos pueden ser oxidados en disolución acuosa por NaClO o Ca(ClO), a su correspondiente ácido sulfónico. En general, estos compuestos no son volátiles y son menos olorosos. Si el mercaptano contiene otros grupos que pueden ser oxidados por el ClO- la cantidad utilizada de este reactivo ha de ser incrementada proporcionalmente. De la misma manera, el sulfuro inorgánico puede ser oxidado a sulfato.



Pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno pueden ser oxidadas utilizando los mismos reactivos. Para mantener la reacción bajo control, un primer paso es absorber el H₂S en exceso de hidróxido de sodio (NaOH) acuoso, y entonces añadir la disolución gota a gota en una disolución de NaClO en una vitrina (precaución: el H₂S es venenoso y es uno de los peligros más grandes dentro de amplio rango de productos de laboratorio). Una posible alternativa es precipitar el ión S²⁻ como sulfuro insoluble para eliminarlo en un vertedero controlado como residuo sólido.

Procedimientos de destrucción

A. Antes de comenzar la reacción preparar un baño de hielo por si es necesario enfriar la reacción. Agitar una disolución de NaClO al 5,25% (2,5 L, 1,88 moles, 25% en exceso) a temperatura ambiente en un balón de tres bocas de 5 L equipado con agitador, termómetro y embudo de adicción, y añadir entonces 0,5 moles de mercaptano líquido gota a gota. Si el mercaptano es un sólido, primero se ha de disolver en tetrahidrofurano (THF) y añadirlo después a la mezcla de reacción con la ayuda de un embudo de adicción. Los sulfuros inorgánicos deben ser añadidos en forma de disoluciones acuosas. Si se observa que el mercaptano está disuelto y la temperatura aumenta, esto indica que la reacción ha comenzado. Si no hay reacción después de añadir el 10% del mercaptano, detener la adición y calentar la mezcla a 50°C. Sólo se añadirá más mercaptano si la reacción ha comenzado. Añadir el mercaptano manteniendo la temperatura media entre 45-50°C. Si la temperatura aumenta por encima de esto puede ser necesario utilizar un baño de hielo. Cuando la adición ha finalizado (1 h aproximadamente), agitar la mezcla durante 2 h más mientras la temperatura disminuye, y seguidamente verterla al desagüe con un exceso de agua.

B. Antes de comenzar la reacción preparar un baño de hielo por si es necesario enfriar la reacción. Agitar 210 g de Ca(ClO), (25% exceso) en 1 L de agua a temperatura ambiente en un balón de 5 L, y añadir 0,5 moles de mercaptano líquido gota a gota. Si el mercaptano es un sólido, primero se ha de disolver en tetrahidrofurano (THF) y después se ha de añadir a la mezcla de reacción. Los sulfuros inorgánicos deben ser añadidos en forma de disoluciones acuosas. Si se observa que el mercaptano está disuelto y la temperatura aumenta, esto indica que la reacción ha comenzado. Si no hay reacción después de añadir el 10% del mercaptano, detener la adición y calentar la mezcla a 50°C. Sólo se añadirá más mercaptano si la reacción ha comenzado. Añadir el mercaptano manteniendo la temperatura media entre 45-50°C. Si la temperatura aumenta por encima de esto puede ser necesario utilizar un baño de hielo. Cuando la adición ha finalizado (1 h aproximadamente), agitar la mezcla durante 2 h más

mientras la temperatura disminuye, y seguidamente verterla al desagüe con un exceso de agua.

Compuestos relacionados

Aunque no han sido corroborados, estos procedimientos probablemente son efectivos para tratar compuestos que contienen enlaces S-S, como por ejemplo disulfuro de metilo o disulfuro de fenilo.

3.5.20. DISULFURO DE CARBONO

El disulfuro de carbono (CS_2) es ampliamente utilizado como disolvente. Es altamente volátil (p.e. 46°C), tóxico y rápidamente forma mezclas explosivas con el aire.

Principio de la destrucción

El disulfuro de carbono es oxidado por el hipoclorito a dióxido de carbono y ácido sulfúrico.



Procedimientos de destrucción

A. Agitar una disolución de hipoclorito de sodio al 5,25% (6,7 L) a temperatura ambiente en un balón de 10 L y añadir 30 mL (0,5 moles, 38 g) de CS_2 gota a gota. Regular la temperatura entre 20 y 30°C para evitar la volatilización del disulfuro de carbono. Cuando la adición sea completa, agitar la mezcla durante 2 h, y verterla al desagüe con exceso de agua. Utilizar una disolución de hipoclorito de sodio preparada recientemente.

B. Agitar hipoclorito de calcio (550 g) en 2,2 L de agua a temperatura ambiente en un balón de 5 L. Añadir CS_2 (30 mL, 0,5 moles) gota a gota. Regular la temperatura entre 20 y 30°C . Cuando la adición sea completa, agitar la mezcla durante 2 h. y seguidamente verterla al desagüe con exceso de agua.

3.5.21. SULFATO DE DIMETILO Y COMPUESTOS RELACIONADOS

El sulfato de dimetilo (SDM_1 (CH_3)₂ SO_4) es un líquido oleoso, claro y de alto punto de ebullición (p.e. 188°C). Es bastante volátil y no tiene ningún olor característico. Es altamente tóxico, provoca graves incendios y causa problemas en los pulmones, los riñones y el hígado. Provoca cáncer en animales de experimentación y puede ser un cancerígeno humano. Es poco soluble en agua (2,8%) y se utiliza como agente alquilante tanto industrialmente como en el laboratorio.

El sulfato de dietilo (SDE_1 (C_2H_5)₂ SO_4) es también un líquido volátil (p.e. 209°C) con olor de menta. Es bastante insoluble en agua. Se utiliza como agente alquilante industrial y en el laboratorio. Provoca cáncer en animales de experimentación y puede ser un cancerígeno humano. Es un serio irritante de la piel y los ojos.

El mesilato de metilo (MM_1 $\text{CH}_3\text{SO}_2\text{OCH}_3$) es un líquido volátil (p.e. 203°C), soluble en una proporción de 1,5:1 en agua. Provoca cáncer en animales de experimentación.

El mesilato de etilo (ME_1 $\text{CH}_3\text{SO}_2\text{OC}_2\text{H}_5$) es un líquido volátil (p.e. 213°C) que es un poco soluble en agua. Provoca cáncer en animales de experimentación.

Principio de la destrucción

El sulfato de dimetilo (SDM) es hidrolizado por las bases diluidas (disoluciones de NaOH de concentración 1 o 5 mol L^{-1} , disolución de Na_2CO_3 de concentración 1 mol o disolución

de NH_4OH de concentración $1,5 \text{ mol L}^{-1}$) a metanol e hidrógenosulfato de metilo. La posterior hidrólisis a metanol y H_2SO_4 es lenta. De todas formas, el hidrogenosulfato de metilo no es mutagénico y es también un muy pobre alquilante. Cuando se hidroliza utilizando NH_4OH los productos son metilamina, dimetilamina y trimetilamina. La hidrólisis destruye el SDM_1 que es un compuesto mutagénico, sin producir otras especies mutágenas. La toxicidad del hidrogenosulfato de metilo no ha sido establecida, pero se deben adoptar medidas adecuadas para proteger las personas que lo manejan. De una forma similar, el SDE_1 que también es mutagénico, puede ser hidrolizado por los reactivos anteriores, aunque el proceso es más lento. Los productos son probablemente los compuestos análogos de etilo. Se produce etanol cuando el agente hidrolizante es NaOH . El MM y el ME pueden ser hidrolizados con disoluciones de NaOH de Concentración $1\text{-}5 \text{ mol L}^{-1}$. Los productos son metanol o etanol y probablemente ácido metanosulfónico, que no es mutágeno.

Todos estos productos también pueden ser degradados utilizando una disolución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ de concentración 1 mol L^{-1} . La eficacia de la degradación es $> 995\%$. Los productos de la reacción aun no se han determinado.

Procedimientos de destrucción

Destrucción de cantidades sólidas de SDM y SDE

Nota: los tiempos de reacción que se dan conducen a buenos resultados en las comprobaciones. De todas formas, el tiempo de reacción puede verse afectado por factores como por ejemplo el tamaño, la forma del balón y la agitación. Si aparentemente son distinguibles dos fases, esto es un indicador de que la reacción no se ha completado. La agitación ha de ser continua hasta que la mezcla de reacción sea homogénea.

Para efectuar la destrucción de 10 mL de SDM o SDE se añaden en un balón que contiene, con agitación vigorosa, 500 mL de disolución de NaOH de concentración 1 mol L^{-1} , Na_2CO_3 de concentración 1 mol L^{-1} o NH_4OH de concentración $1,5 \text{ mol L}^{-1}$. 15 minutos después de finalizar la adición, el SDM no se detecta (3 h después en el caso del SDE). No se observa aparición de gas, y el máximo aumento de temperatura observado es de 5°C . Al final de la reacción la mezcla se neutraliza, se comprueba que la destrucción se ha completado y se vierte al desagüe con exceso de agua.

Este procedimiento se puede adaptar a la destrucción de grandes cantidades. Así, 100 mL de SDM se añaden a 1 L de disolución de NaOH de concentración 5 mol L^{-1} y la mezcla de reacción se agita. 15 minutos después de finalizar la adición, el SDM no se detecta. Se obtienen resultados similares para el SDE pero la reacción es mucho más lenta. 24 h después de finalizar la adición, el SDE no se detecta. El máximo aumento de temperatura observado es de 11°C . Al final de la reacción la mezcla se neutraliza, se comprueba que la destrucción se ha completado y se vierte al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de cantidades sólidas de MM y ME

A. Para efectuar la destrucción de 1 mL del compuesto se añade a 50 mL de disolución de NaOH de concentración 1 mol L^{-1} y la mezcla de reacción se agita durante 6 h (MM) o 24 h (ME). La mezcla de reacción se neutraliza, se comprueba que la destrucción ha sido completa y se vierte al desagüe con exceso de agua. Los tiempos de reacción pueden variar en función de diversos factores, como por ejemplo la forma del balón y la fuerza de la agitación. Si la mezcla de reacción no es homogénea, la agitación ha de ser continua. El aumento de temperatura máximo observado es de 3°C .

B. Para efectuar la destrucción de 1 mL del compuesto se añade a 10 mL de disolución de NaOH de concentración 5 mol L^{-1} y la mezcla de reacción se agita durante 2 h (MM) o 14 h (ME). La mezcla de reacción se neutraliza, se comprueba que la destrucción ha sido completa y se vierte al desagüe con exceso de agua. Los tiempos de reacción pueden variar en fun-

ción de diversos factores, como por ejemplo la forma del balón y la fuerza de la agitación. Si la mezcla de reacción no es homogénea, la agitación ha de ser continua. El aumento de temperatura máximo observado es de 17°C (para el MM).

Dstrucción de sulfato de dimetilo en disolventes orgánicos

Para efectuar la destrucción de 1 mL de disolución de SDM en metanol, etanol, dimetil-sulfóxido (DMSO), acetona, o dimetilformamida (DMF) (1 mL de SDM en 10 mL de disolvente), se agita con 4 mL de disolución de NaOH de concentración 1 mol L⁻¹, Na₂CO₃ de concentración 1 mol L⁻¹ o NH₄OH de concentración 1,5 mol L⁻¹ hasta que la disolución es homogénea. Después de 15 minutos el SDM no se detecta cuando el disolvente es metanol, etanol, DMSO o DMF (<0,045%). Después de 1 h el SDM no se detecta cuando el disolvente es acetona (< 0,0045%). La mezcla de reacción se neutraliza, se comprueba que la destrucción ha sido completa y se vierte al desagüe con exceso de agua.

Para disolventes no miscibles con el agua (tolueno, p-xileno, benceno, 1-pentanol, acetato de etilo, cloroformo y tetracloruro de carbono) se añade 1 mL de disolución de SDM (1 mL de SDM en 100 mL de disolvente) a 4 mL de disolución de NaOH de concentración 1 mol L⁻¹, Na₂CO₃ de concentración 1 mol L⁻¹ o NH₄OH de concentración 1,5 mol L⁻¹ y la mezcla heterogénea se agita rápidamente. Después de 24 h no se detecta SDM en la fase orgánica (<0,045%). Las disoluciones de acetonitrilo pueden ser descontaminadas utilizando estos métodos descritos. Aunque la disolución ha de ser homogénea, se encuentra que en algunos casos las dos fases están presentes, Después de 3 h las disoluciones son totalmente homogéneas y el SDM no se detecta (<0,045%). Se recomienda agitar durante 24 h para asegurar la destrucción completa. Cuando la reacción es completa, se neutraliza la mezcla de reacción y las dos fases se separan y se comprueba que la destrucción es completa.

Dstrucción de SDM, SDE, MM y ME

Cantidades sólidas de SDM, SDE, MM y ME se disuelven en acetona y por cada 1 mL de esta disolución se añaden 49 mL de disolución Na₂S₂O₃ de concentración 1 mol L⁻¹. La mezcla se agita durante 24 y se vierte al desagüe con exceso de agua.

Compuestos relacionados

Estos procedimientos de destrucción aunque no han sido verificados se pueden aplicar a otros sulfatos de dialquilo, mesilatos de alquilo y compuestos relacionados. Los problemas pueden aumentar cuando los grupos alquilo grandes están presentes, ya que el compuesto puede ser inmiscible en agua. En consecuencia, los grupos alquilo voluminosos producen hidrólisis lentas que hacen que la destrucción no sea completa en toda su extensión.

3.5.22. ALDEHIDOS Y CETONAS

Las cetonas, especialmente la acetona y la butanona, son disolventes orgánicos habituales en los laboratorios. Muchos aldehídos y cetonas son utilizados como intermedios en síntesis orgánica. Todos queman con facilidad y pueden ser incinerados o quemados en forma de fuente de energía suplementaria. Para esto, es necesario proteger los ojos y la piel, y tener disponible un aparato de respiración.

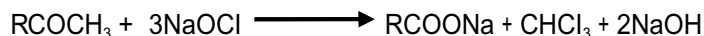
Muchos aldehídos son irritantes al respirarlos y algunos, como por ejemplo el formaldehído y la acroleína, son bastante tóxicos.

Principio de la destrucción

Un residuo de aldehído puede ser oxidado a su correspondiente ácido carboxílico, que es en general menos tóxico y volátil. Esta oxidación se puede realizar con KMnO₄.



La mayoría de las cetonas tienen baja toxicidad y son fáciles de manejar, por lo que se pueden eliminar directamente (vertiéndolas al desagüe o como residuo por incineración). En casos especiales es deseable descomponerlas. Por ejemplo, las metilcetonas (la metil n-butil cetona es una neurotoxina) pueden ser convertidas en ácidos carboxílicos con NaClO al 5,25%.



Una metilcetona insaturada como la metilvinilcetona se puede destruir de la misma manera. En general, la mayoría de las cetonas insaturadas pueden ser tratadas por fragmentación oxidativa del doble enlace, por el procedimiento de oxidación de aldehídos dado anteriormente utilizando 3,2 moles (20% exceso) de KMnO₄ por mol de cetona.



Procedimiento de destrucción

Una mezcla de 100 mL de agua y 0,1 moles de aldehído se agita en un balón de 1 L equipado con un termómetro, embudo de adicción, agitador y baño de calefacción; en el caso de que el aldehído tenga un punto de ebullición más bajo de 100°C es necesario un condensador. Se añaden durante un período de 10 minutos unos 30 mL de una disolución de 12,6 g (0,08 moles, 20% exceso) de KMnO₄ a 250 mL de agua. Si la adicción no va acompañada de un incremento de temperatura y pérdida del color violeta del KMnO₄, se calienta hasta llegar a una temperatura en que se observe el cambio de color. El resto de la disolución de KMnO₄ se añade a esta temperatura aproximadamente.

Se eleva la temperatura a 70-80°C, agitando durante 1 h hasta que el color violeta desaparece. Se enfría la mezcla a temperatura ambiente y se acidifica con H₂SO₄ de concentración 6 mol L⁻¹ (no añadir H₂SO₄, concentrado a una disolución de KMnO₄, ya que puede precipitar Mn₂O₇, que es explosivo). Se añade NaHSO₃ sólido (al menos 8,3 g, 0,08 moles) con agitación a 20-40°C para reducir todo el Mn a su estado divalente, como indica la pérdida de color violeta y la disolución de MnO₂ sólido. La mezcla se vierte al desagüe con un gran exceso de agua.

Si el aldehído contiene un doble enlace, como es el caso de la acroleína, se utilizan 4 moles (20°C exceso) de KMnO₄ por mol de aldehído para oxidar tanto el doble enlace como el grupo aldehído.

3.5.23. CARBONILOS METÁLICOS

Los carbonilos metálicos son compuestos altamente tóxicos y muchos son sensibles al aire. Dado que los metales están generalmente en un grado de oxidación bajo, los carbonilos pueden ser destruidos por oxidación, en la mayoría de los casos por adicción gradual del carbonilo a un exceso del 25% de disolución de ClO⁻ bien agitada. El equipo y el procedimiento utilizados en la oxidación de mercaptanos con hipoclorito son los adecuados, pero la reacción se ha de llevar a cabo bajo nitrógeno, y el carbonilo metálico se ha de añadir a una disolución aproximadamente del 5% en un disolvente inerte, como por ejemplo tetrahidrofurano o un hidrocarburo.

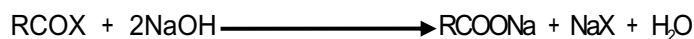


3.5.24. HALUROS DE ÁCIDO Y ANHÍDRIDOS

Los haluros de ácido, como por ejemplo el cloruro de acetilo (CH_3COCl) y el cloruro de benzoílo (PhCOCl), los cloruros de sulfonilo, como por ejemplo el cloruro de bencenosulfonilo (PhSO_2Cl), el cloruro de metanosulfonilo ($\text{CH}_3\text{SO}_2\text{Cl}$, cloruro de mesilo) y el cloruro de p-toluensulfonilo ($\text{p-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{Cl}$, cloruro de tosilo), y los anhídridos de ácido, como por ejemplo el anhídrido acético ($(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$), se utilizan ampliamente en química orgánica. Todos estos compuestos son irritantes y corrosivos. El cloruro de bencenosulfonilo puede llegar a explotar al estar almacenado. Son altamente reactivos y a veces reaccionen violentamente con agua, alcoholes, dimetilsulfóxido y aminas. Bajo condiciones controladas estos compuestos se hidrolizan a sus correspondientes ácidos. Se debe evitar que entren en contacto con residuos que contengan otras sustancias.

Principio de la destrucción

La mayoría de los compuestos de esta clase pueden ser hidrolizados a productos de baja toxicidad solubles en agua que pueden verterse al desagüe con exceso de agua.



Procedimiento de destrucción

Para degradar 0,5 moles de uno de estos compuestos, se preparan 600 mL de disolución de hidróxido de sodio (NaOH , 1,5 moles, 50% exceso) en un balón de tres bocas de 1 L equipado con agitador, embudo de adición y termómetro, y se añaden unos pocos mililitros del compuesto gota a gota. Si al disolver el compuesto se genera calor, añadir el resto del compuesto lentamente para tener la reacción bajo control. Si la reacción es lenta (por ejemplo con cloruro de p-toluensulfonilo) calentar la mezcla a 90°C y cuando el compuesto se haya disuelto, añadir el resto gota a gota. Cuando se obtiene una solución clara, se enfría a temperatura ambiente. Neutralizar la mezcla de reacción final fría a pH 7 con HCl o H_2SO_4 diluido y verterla al desagüe con exceso de agua.

En el caso de que el derivado de ácido sea sólido, puede añadirse en pequeñas porciones a través de una boca del balón.

Compuestos relacionados

Este procedimiento se puede aplicar generalmente a haluroc de ácido, haluroc de sulfonilo y anhídridos de ácido.

3.5.25. HALUROS METÁLICOS REACTIVOS CON EL AGUA

Estos compuestos no pueden depositarse en vertederos controlados porque tienen la característica peligrosa de la reactividad en el aire y en el agua. Los haluros líquidos, como por ejemplo el TiCl_4 y el SnCl_4 pueden añadirse al agua en un matraz enfriado (si es necesario) con un baño de hielo, para mantener la reacción exotérmica bajo control. Es habitualmente más adecuado añadir los haluros sólidos, como el AlCl_3 , el AlBr_3 y el ZrCl_4 , sobre agua agitada y hielo picado hasta que la reacción se detenga. En los dos casos se ajusta el pH hasta la neutralidad y se vierte al desagüe con un gran exceso de agua. La hidrólisis es muy violenta, y puede destruir el recipiente que lo contiene si el agua se añade sobre el haluro.

3.5.26 HALUROS Y HALUROS DE ÁCIDO NO METÁLICOS

Los compuestos característicos de este grupo son el BCl_3 , el PCl_3 , el SiCl_4 , el SOCl_2 y el POCl_3 . La mayoría son reactivos con el agua y no pueden ser depositados en un vertedero

controlado. Los líquidos pueden ser adecuadamente hidrolizados con NaOH de concentración $2,5 \text{ mol L}^{-1}$ por procedimientos ya reseñados, y el hidrolizado después de neutralizar se puede verter al desagüe con un gran exceso de agua. Estos compuestos son irritantes de la piel y de las vías respiratorias, y requieren al manejarlos trabajar en una vitrina y con protección para la piel. Además, el PCl_3 puede producir durante la hidrólisis pequeñas cantidades de fosfina (PH_3), altamente tóxica.

El monocloruro de azufre (S_2Cl_2) es un caso especial. Es hidrolizado a una mezcla de Na_2S y Na_2SO_3 , y el hidrolizado ha de tratarse con ClO^- , como se ha descrito en el caso de los sulfuros metálicos.

3.5.27. ÉSTERES DEL ÁCIDO CARBÁMICO

Se consideran cuatro ésteres del ácido carbámico: carbamato de metilo (MC, $\text{CH}_3\text{OCONH}_2$), carbamato de etilo o uretano (UT, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCONH}_2$), N-metiluretano (MUT, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCONHCH}_3$) y N-etiluretano (EUT, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCONHCH}_2\text{CH}_3$).

El MC (p.f. $56-58^\circ\text{C}$) y el UT (p.f. $48,5-50^\circ\text{C}$) son sólidos, y el MUT (p.e. 170°C) y el EUT (p.e. 176°C) son líquidos. De todas formas, el MC fundido (p.e. $176-177^\circ\text{C}$) y el UT (p.e. $182-184^\circ\text{C}$) tienen puntos de ebullición bajos, y por este motivo estos compuestos acostumbran a considerarse volátiles y deben ser manipulados en una vitrina. El UT, el MUT y el EUT son cancerígenos en animales de experimentación. No se ha establecido la evidencia de la carcinogenicidad del MC.

EL UT es un teratógeno, provoca depresión de la médula ósea y náuseas, y puede afectar al cerebro y al sistema nervioso.

El uretano se utiliza industrialmente como intermedio. También aparece de forma natural por fermentación en algunas bebidas alcohólicas. El carbamato de metilo se utiliza en la industria textil y farmacéutica. Todos estos compuestos son solubles en agua y en etanol.

Principio de la destrucción

Estos compuestos se hidrolizan utilizando en todos los casos una disolución de NaOH de concentración 5 mol L^{-1} , aunque varía el tiempo de reacción. Los compuestos son hidrolizados a metano1 (MC) o etanol (UT, MUT, EUT) y a ácido carbámico (MC, UT), N-metilcarbámico (MUT) o N-etilcarbámico (EUT), que entonces se descomponen a CO_2 y amoníaco (MC, UT), metilamina (MUT) o etilamina (EUT). En todos los casos la destrucción es $> 99\%$.

Procedimientos de destrucción

Destrucción de Kmetiluretano, carbamato de metilo y uretano

Añadir 50 mg del compuesto a 10 mL de disolución de NaOH de concentración 5 mol L^{-1} y agitar a temperatura ambiente durante 24 h (MC, UT) o 48 h (MUT). Comprobar en la mezcla de reacción que la destrucción ha sido completa, neutralizarla y verterla al desagüe con exceso de agua.

Nota: este procedimiento no es aplicable al N-metiluretano.

Destrucción del Kmetiluretano, Ketiluretano, carbamato de metilo y uretano

Añadir 50 mg del compuesto a 10 mL de disolución de NaOH de concentración 5 mol L^{-1} y calentar a reflujo durante 4 h. Enfriar, comprobar en la mezcla de reacción que la destrucción ha sido completa, neutralizarla y verterla al desagüe con exceso de agua.

Compuestos relacionados

Este procedimiento sería aplicable a la destrucción de ésteres de ácido carbámico en general, pero se debe ir con cuidado y comprobar que los compuestos son totalmente degrada-

dos. La resistencia a la hidrólisis parece que se incrementa cuando aumenta el grado de sustitución. Los ésteres carbámicos más altamente sustituidos pueden necesitar tiempos de reflujo más prolongados.

3.5.28. β -PROPIOLACTONA

La β -propiolactona (p.e. 162°C) es un líquido volátil que es soluble en una extensión del 37% en agua. Se utiliza como esterilizante y industrialmente como intermedio, ya que es un agente acilante. Es un potente cancerígeno animal.

Principio de la destrucción

La β -propiolactona se oxida por la acción del KMnO_4 en presencia de H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} . Los productos de la reacción nunca han sido determinados. La destrucción es completa hasta un margen < 0,21%.

También se hidroliza rápidamente al relativamente inofensivo ácido p-hidroxipropiónico con disolución acuosa de hidróxido de sodio, y este hidroxiaácido puede ser vertido de manera segura al desagüe con un exceso de agua.

Procedimiento de destrucción

Añadir 0,5 mL (573 g) de β -propiolactona a 100 mL de H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} y añadir con agitación 4,8 g de KMnO_4 en porciones. Agitar la mezcla de reacción a temperatura ambiente durante 18 h, y entonces decolorarla con ácido ascórbico y neutralizarla con NaHCO_3 . Comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Compuestos relacionados

Este es un procedimiento general oxidativo y podría utilizarse para otras lactonas, aunque es necesario validarlo para cada compuesto.

3.5.29. CARBOXAMIDAS

Las carboxamidas, que incluyen disolventes muy habituales como la N,N-dimetilformamida (DMF) y la N,N-dimetilacetamida (DMA), no son demasiado peligrosas si se siguen prácticas correctas de laboratorio. Pueden ser hidrolizadas calentándolas a reflujo durante 5 h con 250 mL de HCl al 36% por mol de amida.

Compuestos relacionados

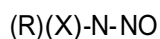
La hexametilfosforamida (HMPA), que es un potente cancerígeno en animales, puede ser hidrolizada por reflujo con 750 mL de HCl al 36% por mol de HMPA.

El reactivo analítico tioacetamida, moderado cancerígeno en animales, se descompone por la acción del ClO^- (25% exceso) como se ha descrito para los mercaptanos.



3.5.30. N-NITROSO COMPUESTOS: NITROSAMIDAS

Las nitrosamidas son compuestos de fórmula general:



donde R es generalmente un grupo alquilo (por ejemplo, metilo o etilo) y el enlace X-N es lábil. Los compuestos en los que el enlace X-N no es lábil se denominan nitrosaminas. Ya que el fundamento químico de su descomposición es bastante diferente, se tratan en un apartado diferente.

Un problema especial de las nitrosamidas es su descomposición inducida por bases para dar diazoalcanos. Por ejemplo, el tratamiento de una disolución etanólica de N-metil-N-nitroso-p-toluenosulfonamida con disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 1 mol L^{-1} genera diazometano con un 29% de rendimiento. Los diazoalcanos son compuestos tóxicos, explosivos y cancerígenos, y es necesario evitar su generación. Todos los métodos que se describen, con la excepción del KMnO_4 en H_2SO_4 , han sido cuidadosamente comprobados por lo que respecta a la posible generación de diazoalcanos, y en ningún caso se han encontrado. Teniendo en cuenta la naturaleza ácida del medio de reacción, la generación de diazoalcanos no debe suponer ningún inconveniente para el tratamiento con KMnO_4 en H_2SO_4 .

La mayoría de las nitrosamidas son cancerígenas en animales de experimentación y se deben considerar como potenciales cancerígenos humanos. Todas las nitrosamidas citadas son mutágenas. La N-metil-NI-nitro-N-nitrosoguanidina (MNNG, p. f. 123°C) puede explotar cuando la calentamos o cuando se le dan golpes, el N-metil-N-nitrosouretano (MNUT, p.e. $62-64^\circ\text{C}$) puede explotar al calentarlo y la N-metil-N-nitrosourea (MNU, p.f. 126°C) puede explotar estando almacenada. Las nitrosamidas han de almacenarse por debajo de -10°C . Algunas nitrosamidas son sólidos y algunas son líquidos volátiles. Otras nitrosamidas estudiadas son la N-metil-N-nitroso-p-toluenosulfonamida (MNTS, p.f. $61-62^\circ\text{C}$), la N-etil-N-nitrosourea (ENU, p.f. 104°C), el N-etil-N-nitrosouretano (ENUT, p.e. 75°C a 16 mm de Hg) y la N-etil-NI-nitro-N-nitrosoguanidina (ENNG, p.f. $118-120^\circ\text{C}$).

Siempre que sea posible, estos compuestos han de ser tratados en disolución diluida utilizando el equipamiento disponible. Las nitrosamidas son generalmente utilizadas en los laboratorios para la inducción de tumores en animales de experimentación, aunque se pueden encontrar utilidades en síntesis orgánica para la generación de diazoalcanos.

Principios de la destrucción

Se han investigado muchos métodos para la destrucción de nitrosamidas. El método escogido es en función de la nitrosamida y del medio en que se encuentra. Los métodos descritos son:

1. Oxidación con permanganato de potasio en ácido sulfúrico. Los productos de reacción no han sido determinados, aunque la degradación es eficiente en $> 99\%$.

2. Reacción con ácido sulfámico en disolución de ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico provoca el desplazamiento del grupo nitroso. El cloruro de nitrosilo formado reacciona con el ácido sulfámico para formar nitrógeno y ácido sulfúrico. Esto evita la formación de la nitrosamida. Los productos de la reacción son las correspondientes amidas producidas por eliminación simple del grupo nitroso. La degradación es eficiente en $> 99\%$.

3. Reacción con limaduras de hierro en disolución de ácido clorhídrico. El HCl provoca el desplazamiento del grupo nitroso. El cloruro de nitrosilo formado es reducido a amoníaco por la acción de las limaduras de hierro en medio ácido. Esto evita la posibilidad de formación de la nitrosamida. Los productos de la reacción son las correspondientes amidas producidas por eliminación del grupo nitroso, con excepción de la MNNG y la ENNG, en que la eliminación reductiva del grupo nitro provoca que los productos mayoritarios sean la metilguanidina y la etilguanidina respectivamente. La degradación es eficiente en $> 99\%$.

4. Reacción con disolución de hidrógenocarbonato de sodio. Esta base débil provoca una lenta descomposición inducida por la base. La velocidad de reacción es lo suficientemente lenta como para que cualquier diazoalcano que sea formado reaccione con el disolvente antes de escaparse de la disolución. Los productos de la reacción no han sido definitivamente identificados, pero probablemente impliquen metano para el MNU y el MNUT, etanol para el ENU,

el MNUT y el ENUT y cianato para el MNU y el ENU. La degradación es eficiente en > 99,9% para el MNU, el ENU, el MNUT y el ENUT. Este método no es adecuado para el MNNG, el ENNG o el MNTS.

5. Reacción con disolución de hidrógenocarbonato de sodio, aleación de Ni-Al y disolución de carbonato de sodio, y disolución de hidróxido de potasio. El lento incremento del pH de la disolución producido por la adición secuencial de las bases provoca una lenta degradación de la nitrosamida. La velocidad de degradación es bastante lenta para que cualquier diazoalcano que sea formado tenga tiempo de reaccionar con el disolvente antes de escaparse de la disolución. Los productos de la reacción no han sido definitivamente identificados. La degradación es eficiente en > 99,9%.

En todos los casos y utilizando estos procedimientos, la destrucción ha sido completa, no se han detectado diazoalcanos, y las mezclas de reacción finales no son mutágenas. No todas las nitrosamidas pueden ser destruidas por cada procedimiento, y estas limitaciones serán indicadas en el inicio de cada sección.

Procedimientos de destrucción

Destrucción de cantidades sólidas de nitrosamidas

A. Diluir 1 g de la nitrosamida en 30 mL de metanol y añadir 30 mL de disolución saturada de bicarbonato de sodio (NaHCO_3). Agitar la mezcla a temperatura ambiente durante 24 h, y entonces añadir 30 mL de Na_2CO_3 de concentración 1 mol L^{-1} y 10 g de aleación de Ni-Al manteniendo la agitación 24 h. Al final de este tiempo añadir 30 mL de disolución de concentración 1 mol L^{-1} de KOH (más cantidad si la disolución se ha vuelto muy espesa para poder ser agitada fácilmente), agitar esta mezcla durante 24 h y a continuación filtrarla a través de Celite. Neutralizar el filtrado, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua. Dejar secar el sólido en una bandeja metálica lejos de disolventes inflamables durante 24 h, y entonces considerarlo como residuo sólido. Para cantidades más grandes de nitrosamida, incrementar proporcionalmente las cantidades dadas, pero realizar este procedimiento como mínimo a esta escala. Disolver pequeñas cantidades de nitrosamidas en al menos 30 mL de metanol.

B. Diluir la nitrosamida en H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} hasta que la concentración no exceda de 5 g/L y añadir 47.4 g de KMnO_4 por cada litro de disolución. Agitar la mezcla a temperatura ambiente toda la noche, y entonces decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

C. Sólo para el ENUT, el MNUT, el MNU y el ENU. Este método no debe utilizarse para degradar el MNTS, el MNNG y el ENNG. Coger 15 g de nitrosamida en 1 L de etanol y añadir 1 L de disolución saturada de NaHCO_3 . Agitar la mezcla durante 24 h, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

D. Sólo para el MNTS, el MNUT, el MNU, el ENU, el MNNG y el ENNG. Este método no se ha de utilizar para degradar el ENUT. Diluir 30 g de la nitrosamida en 1 L de metanol y poco a poco y con agitación añadir 1 L de HCl de concentración 6 mol L^{-1} . Por cada 2 L de disolución añadir 70 g de ácido sulfámico y agitar la mezcla durante 24 h, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

E. Sólo para el MNTS, el MNUT, el MNU y el ENU. Este método no puede utilizarse para degradar el ENUT, el MNNG y el ENNG. Diluir 30 g de la nitrosamida en 1 L de metanol y poco a poco y con agitación añadir 1 L de HCl de concentración 6 mol L^{-1} . Por cada 2 L de disolución añadir 70 g de limaduras de hierro y agitar la mezcla durante 24 h, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de nitrosamidas en metanol

A. Diluir la disolución con metanol si es necesario hasta que la concentración de nitrosamida no exceda de 1 g en 30 mL, y proceder como en el apartado A de la sección anterior.

B. Diluir la disolución con agua hasta que la concentración de metanol no exceda del 20% y la de la nitrosamida no exceda del 0,5%. A continuación añadir 160 mL de H_2SO_4 concentrado por cada litro de disolución cuidadosamente y con agitación. Después de enfriar, añadir 47,4 g de KMnO_4 por cada litro de disolución. Agitar la mezcla a temperatura ambiente toda la noche, y entonces decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

C. Sólo para el MNTS, el MNUT, el MNU, el ENU, el MNNG y el ENNG. Este método no se ha de utilizar para degradar el ENUT. Diluir la disolución, si es necesario, con metanol hasta que la concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L. Por cada litro de disolución añadir poco a poco 1 L de disolución de HCl de concentración 6 mol L^{-1} con agitación. Por cada 2 L de disolución añadir 70 g de ácido sulfámico y agitar la mezcla durante 24 h, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

D. Sólo para el MNTS, el MNUT, el MNU y el ENU. Este método no se puede utilizar para degradar el ENUT, el MNNG y el ENNG. Diluir la disolución si es necesario con metanol hasta que la Concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L. Por cada litro de disolución añadir poco a poco y con agitación 1 L de disolución de HCl de concentración 6 mol L^{-1} . Por cada 2 L de disolución añadir 70 g de limaduras de hierro y agitar la mezcla durante 24 h, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de nitrosamidas en etanol

A. Diluir la disolución con etanol si es necesario hasta que la concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L, y proceder como en el apartado A de la sección anterior.

B. Diluir la disolución con agua hasta que la concentración de etanol no exceda del 20% y la de la nitrosamida no exceda del 0,5%, y entonces, con mucho cuidado y con agitación, añadir 160 mL de H_2SO_4 concentrado por cada litro de disolución. Después de enfriar, añadir 47,4 g de KMnO_4 por cada litro de disolución. Agitar la mezcla a temperatura ambiente toda la noche, y entonces decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

C. Sólo para el MNTS, el MNUT, el MNU, el ENU, el MNNG y el ENNG. Este método no se ha de utilizar para degradar el ENUT. Diluir la disolución, si es necesario, con etanol hasta que la Concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L. Proceder como en el apartado C de la sección anterior.

D. Diluir la disolución, si es necesario, con etanol hasta que la Concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L. Proceder como en el apartado D de la sección anterior.

Destrucción de nitrosamidas en dimetilsulfóxido (DMSO)

A. Diluir la disolución si es necesario con DMSO hasta que la concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L. Se procede como en el apartado A de la sección anterior.

B. Diluir la disolución con agua hasta que la concentración de DMSO no exceda del 20% y la de la nitrosamida no exceda del 0,5%. Seguir el procedimiento descrito en el apartado B de la sección anterior.

C. Sólo para el MNTS, el MNUT, el MNU, el ENU, el MNNG y el ENNG. Este método no se debe de utilizar para degradar el ENUT. Diluir la disolución, si es necesario, con DMSO hasta que la concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L. Seguir el procedimiento descrito en el apartado C de la sección anterior.

D. Diluir la disolución, si es necesario, con DMSO hasta que la concentración de nitrosamida no exceda de 30 g/L. Seguir el procedimiento descrito en el apartado D de la sección anterior.

Destrucción de nitrosamidas en acetona o agua

Diluir la disolución si es necesario con acetona o agua hasta que la concentración de nitrosamida no exceda de 1 g en 30 mL. Proceder como en el apartado A de la sección anterior.

Destrucción de nitrosamidas en acetato de etilo

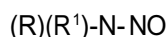
Diluir la disolución si es necesario con acetato de etilo hasta que la concentración de nitrosamida no exceda del 0,5%. Por cada 30 mL de esta disolución añadir 20 mL de dimetilformamida y 50 mL de disolución de KMnO_4 de concentración $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ en agua. Cuidadosamente y con agitación, añadir 16 mL de H_2SO_4 concentrado, mezclar bien durante 1 minuto, y entonces añadir 2,5 g de KMnO_4 . Agitar la mezcla a temperatura ambiente durante toda la noche, decolorar la disolución con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Compuestos relacionados

En un principio, estos métodos descritos deberían de ser aplicables a otras nitrosamidas, como por ejemplo la N-metil-N-nitrosoacetamida, pero la química de estos compuestos varía ampliamente y el procedimiento de destrucción escogido se ha de validar antes de emplearlo rutinariamente. La validación completa incluye determinar que la nitrosamida sea completamente degradada, que no se generen diazoalcanos, que las mezclas de reacción finales no sean mutágenas y, si es posible, que los productos no sean tóxicos. El procedimiento de destrucción ha de ser validado para cada nitrosamida disuelta en cada disolvente en que es posible que se pueda encontrar.

3.5.31. N-NITROSO COMPUESTOS: NITROSAMINAS

Las nitrosaminas son compuestos de fórmula general:



donde R y R^1 son en general grupos alquil o aril, aunque se conocen variedades donde R y R^1 son heteroátomos (por ejemplo, oxígeno). Los compuestos donde R o R^1 es un grupo saliente se denominan nitrosamidas. El fundamento químico de su destrucción es bastante diferente del que corresponde a las nitrosaminas y es por esto que se han tratado en el apartado anterior.

La mayoría de las nitrosaminas de bajo peso molecular son líquidos volátiles y pueden ser consideradas como cancerígenos en humanos, y por este motivo es de gran interés encontrar métodos adecuados para destruir pequeñas cantidades. Por ejemplo, la N-metil-N-nitrosometanamina (NDMA) es un líquido amarillo-verdoso soluble en agua (p. e. $149\text{-}150^\circ\text{C}$) que es conocido por provocar cáncer en ratones a un nivel de parte por billón en agua bebida. Las nitrosaminas son solubles en disolventes orgánicos y tienen diferentes grados de solubilidad en agua. Otras nitrosaminas utilizadas generalmente, cuya degradación ha sido investigada, son:

- N-etil-N-nitrosoetanamina (NDEA, p.e. 77°C , soluble 106 mg mL^{-1} en agua).
- N-nitrosodipropilamina (NDPA, p.e. 81°C a 5 mm de Hg, soluble $9,8 \text{ mg mL}^{-1}$ en agua).
- N-nitrosodiisopropilamina (NDiPA, p.f. 48°C , ligeramente soluble en agua).
- N-nitrosodibutilamina (NDBA, p.e. 116°C a 14 mm de Hg, soluble $1,2 \text{ mg mL}^{-1}$ en agua).
- N-nitrosopirrolidina (NPYR, p.e. 98°C a 12 mm de Hg, miscible en agua).
- N-nitrosopiperidina (NPIP, p.e. 100°C a 14 mm de Hg, soluble 77 mg mL^{-1} en agua).

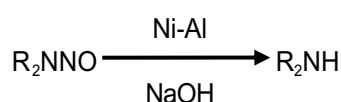
N-nitrosomorfolina (NMOR, p.e. 96°C 6 mm de Hg, miscible en agua).
 N,N'-dinitrosopiperazina (di-NPZ, p.f. 160°C soluble 5,7 mg mL⁻¹ en agua).
 N-nitroso-N-metilanilina (NMA, p.f. 15%, p.e. 121°C a 13 mm de Hg, insoluble en agua).
 N-nitrosodifenilamina (NDPhA, p.f. 66,5%)

La NDMA, la NDEA, la NDPA, la NDBA, la NPYR, la NPIP y la NMOR provocan cáncer en animales de experimentación y pueden ser considerados para propósitos prácticos como cancerígenos humanos. La NDiPA, la di-NPZ, la NMA y la NDPhA provocan cáncer en animales de experimentación. La N-nitrosodimetilamina produce una enfermedad fatal en el hígado y un número de efectos sistémicos al ingerirla. La N-nitrosodifenilamina es un irritante de los ojos y puede reaccionar vigorosamente con materiales oxidantes. Los compuestos NDMA, NDEA, NDPA, NDBA, di-NPZ y NMA son teratógenos.

Las nitrosaminas son utilizadas en los laboratorios para la inducción de tumores en animales de experimentación, aunque tienen alguna utilidad como intermedios en química orgánica, como por ejemplo, para la preparación de hidrazinas o en la (-alquilación de aminas. Son productos no deseados en procesos industriales, como por ejemplo en la industria del caucho.

Principio de la destrucción

Las nitrosaminas pueden ser reducidas a sus correspondientes aminas utilizando la aleación de Ni-Al en base diluida. Las nitrosaminas se degradan completamente (99,9%) y sólo se encuentran las aminas en las mezclas finales de reacción. Trazas (<0,1%) de las correspondientes hidrazinas se encuentran en las mezclas finales de reacción.



Las nitrosaminas pueden ser oxidadas con KMnO₄ en H₂SO₄ de concentración 3 mol L⁻¹, y son completamente destruidas (> 993%) sin determinarse los productos de la reacción.

También pueden ser destruidas utilizando bromuro de hidrógeno (HBr) en ácido acético glacial a temperatura ambiente, son totalmente destruidas (> 99%) y los productos obtenidos son probablemente las correspondientes aminas.



Todos estos procedimientos han sido corroborados por estudios de colaboración internacional.

Procedimientos de destrucción

Destrucción de cantidades sólidas de nitrosaminas

A. Disolver la nitrosamina en agua hasta que la concentración no exceda de 10 mg mL⁻¹. Si la nitrosamina no es bastante soluble en agua, utilizar metanol como alternativa. Añadir un volumen igual de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 1 mol L⁻¹ y agitar la mezcla magnéticamente. Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación Ni-Al de manera que no se forme excesiva espuma. La reacción puede ser bastante exotérmica y se realiza en un recipiente que tenga tres veces más de volumen que el de la reacción final. Cubrir la mezcla de reacción y agitar durante 24 h y a continuación filtrarla a través de Celite. Neutralizar el filtrado, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua. Permitir que el Ni empleado se seque en una bandeja metálica durante 24 h (lejos de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido.

B. Disolver la nitrosamina en H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} hasta que la concentración no exceda de 6 mg mL^{-1} y entonces añadir $47,4 \text{ g}$ de KMnO_4 por cada litro de disolución. Agitar la mezcla de reacción toda la noche. Si la mezcla de reacción no es bastante púrpura, añadir más KMnO_4 hasta que el color púrpura se mantenga durante al menos 1 h . Decolorar la mezcla de reacción con ácido ascórbico o ascorbato de sodio, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de nitrosaminas en disolución acuosa

A. Disolver la mezcla, si es necesario, con agua hasta que la concentración no exceda de 10 mg mL^{-1} . Añadir un volumen igual de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 1 mol L^{-1} y agitar la mezcla magnéticamente. Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación Ni-Al (50:50) de manera que no se forme excesiva espuma. Proceder como en el apartado A de la sección anterior.

B. Agitar la disolución acuosa y lentamente añadir H_2SO_4 de concentración 3 mol L^{-1} hasta que la concentración no exceda de 6 mg mL^{-1} utilizando un baño de hielo si es necesario. Proceder como en el apartado B de la sección anterior.

Destrucción de nitrosaminas en disolventes orgánicos apróticos (por ejemplo, diclorometano)

A. Diluir la disolución, si es necesario, hasta que la concentración de nitrosamina no exceda de 10 mg mL^{-1} . Agitar la mezcla de reacción y añadir un volumen igual de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 2 mol L^{-1} y tres volúmenes de metanol (por ejemplo, diclorometano:agua:metanol, $1:1:3$), agitando la mezcla magnéticamente. A partir de aquí proceder como en el apartado A de la sección anterior.

Nota: en investigación biológica se puede tener que eliminar un extracto que contenga unos pocos miligramos de una dialquilnitrosamina en un disolvente inerte, como por ejemplo el diclorometano.

B. Secar la disolución, si es necesario, con sulfato de sodio anhidro. Diluir la mezcla con más disolvente hasta que la concentración de nitrosamina no exceda de 1 mg mL^{-1} . Por cada volumen de disolución de nitrosamina añadir 10 volúmenes de disolución de HBr al 3% en ácido acético glacial (obtenida por dilución de la disolución comercial al 30%). Después de 2 h a temperatura ambiente, diluir la mezcla de reacción con agua (si es necesario, utilizando hielo), neutralizar con disolución de NaOH al 10% , comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua.

Destrucción de nitrosaminas en alcoholes o en dimetilsulfóxido

Diluir la disolución con metanol, si es necesario, hasta que la concentración de nitrosamina no exceda de 10 mg mL^{-1} . Añadir un volumen igual de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 1 mol L^{-1} y agitar la mezcla magnéticamente. Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación Ni-Al (50: 50) de manera que no se forme excesiva espuma. La reacción puede ser bastante exotérmica y se realiza en un recipiente que tenga tres veces más de volumen que el de la reacción final. Cubrir la mezcla de reacción y agitar durante 24 h para, a continuación, filtrarla a través de Celite. Neutralizar el filtrado, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua. Permitir que el Ni usado se seque en una bandeja metálica durante 24 h (lejos de disolventes inflamables) y considerarlo como residuo sólido.

Destrucción de nitrosaminas en aceite de oliva y aceite mineral

Diluir las disoluciones de aceite de oliva con más aceite de oliva y las disoluciones de aceite mineral con hexano, si es necesario, hasta que la concentración de nitrosaminas no ex-

ceda de 10 mg mL^{-1} . Añadir un volumen igual de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 1 mol L^{-1} y agitar la mezcla magnéticamente. Se procede como en el apartado anterior.

Compuestos relacionados

Los procedimientos descritos anteriormente se pueden aplicar en general a otras nitrosaminas. Las limitaciones vienen impuestas por los medios donde las nitrosaminas se encuentran más que por la naturaleza propia de las nitrosaminas. El único caso donde la naturaleza de la nitrosamina es importante es en el uso de HBr en AcOH glacial. En este caso, la NPYR se degrada significativamente más lentamente que las otras nitrosaminas comprobadas. De todas formas las condiciones anteriores degradan la NPYR.

3.5.32. AZO Y AZOXI COMPUESTOS Y TETRACENOS

El azobenceno (Ph-N=N-Ph , p.f. 68°C), el azoxibenceno (Ph-N=NO-Ph , p.f. 36°C y el N,N-dimetil-4-amino-4'-hidroxiazobenceno (p.f. $201-202^\circ\text{C}$) son sólidos, y el azoximetano ($\text{CH}_3\text{-N=NO-CH}_3$, p. e. 98°C) y el tetrametiltetraceno ($(\text{CH}_3)_2\text{N-N=N-N(CH}_3)_2$, p.e. 130°C) son líquidos. El azobenceno y el azoxibenceno son insolubles en agua y solubles en alcoholes y disolventes orgánicos. El azoximetano es cancerígeno en animales y el azobenceno puede ser cancerígeno en animales. El azoxibenceno es tóxico por ingestión y es un irritante de la piel y los ojos; el tetrametiltetraceno puede explotar cuando se calienta a su punto de ebullición. El azoximetano se utiliza en laboratorios de investigación del cáncer, y otros compuestos se utilizan en síntesis orgánica, y como intermedios de productos en la industria química.

Principio de la destrucción

El N,N-dimetil-4-amino-4'-hidroxiazobenceno puede ser oxidado con KMnO_4 en H_2SO_4 , siendo la destrucción $> 993\%$. Los productos de la oxidación no han sido identificados. Los otros compuestos pueden ser reducidos a sus correspondientes aminas utilizando la aleación de Ni-Al en disolución de hidróxido de potasio (KOH). La destrucción es del 99% para el tetrametiltetraceno, $> 99,9\%$ para el azobenceno y $> 99,5\%$ para los otros compuestos. Cuando se realizan estas reacciones se debe destacar que en algunos casos los productos son aminas aromáticas, que pueden ser peligrosas. Por ejemplo, el producto de la reducción del azobenceno y el azoxibenceno es la anilina, la que induce carcinogenicidad en animales.

Procedimientos de destrucción

Destrucción del azobenceno, el azoxibenceno, el aroximetano y el tetrametiltetraceno

Disolver el compuesto en metanol (azobenceno y azoxibenceno) o agua (otros) hasta que la concentración no exceda de 10 mg mL^{-1} , y añadir un volumen igual de disolución de hidróxido de potasio (KOH) de concentración 1 mol L^{-1} y agitar la mezcla magnéticamente. Por cada 100 mL de esta disolución añadir 5 g de aleación Ni-Al. Añadir cantidades mayores en porciones durante aproximadamente 1 h, para evitar la excesiva formación de espuma. Agitar la mezcla de reacción durante toda la noche y filtrarla a través de un relleno de Celite. Neutralizar el filtrado, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con exceso de agua. Poner el Ni filtrado durante 24 h en una bandeja metálica lejos de disolventes inflamables, y entonces considerarlo como residuo sólido.

Destrucción de N,N-dimetil-4-amino-4'-hidroxiazobenceno

Disponer 0,24 mg de N,N-dimetil-4-amino-4'-hidroxiazobenceno en 1 mL de ácido acético al 50% (v/v) y añadir 1 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de concentración 2 mol L^{-1} y 1 mL de

disolución de KMnO_4 de concentración $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. Después de 2 h, decolorar con ácido oxálico comprobar que la destrucción ha sido completa, neutralizar y verterla al desagüe con exceso de agua.

Compuestos relacionados

El 4-fenilazofenol la 4-fenilazoanilina y el 4,4'-azoxianisole han sido reducidos a sus correspondientes aminas con buenos rendimientos por aleación de Ni-Al en disolución de KOH, aunque no se ha determinado la desaparición completa del material de partida. La aleación de Ni-Al en disolución de hidróxido de potasio (KOH) parece que es un método general para la ruptura de los enlaces N-N y N-O. El KMnO_4 en H_2SO_4 es un procedimiento general oxidativo y ha de ser aplicable a la mayoría de los azo compuestos. En cada caso, se ha de realizar la validación completa antes de utilizar el procedimiento.

3.5.33. PERÓXIDOS

Se ha de proceder con precaución porque los peróxidos se forman frecuentemente en disolventes orgánicos habituales, como los éteres. Estos compuestos son peligrosamente inestables, y acciones como por ejemplo mover o abrir el recipiente pueden provocar una explosión.

Este grupo incluye dialquilperóxidos (p.e. $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{-OO-C}_4\text{H}_9\text{-t}$), diacilperóxidos (p.e. $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOOCOC}_6\text{H}_5$) e hidroperóxidos (p.e. $t\text{-C}_4\text{H}_9\text{OOH}$):

Algunos peróxidos relativamente estables se utilizan en química orgánica, en especial como iniciadores de reacciones de polimerización por radicales libres o como reactivos de oxidación. Si se tratan con precaución, el uso de estos compuestos no será particularmente peligroso, aunque pueden explotar cuando se les golpea o se los expone al calor. Son poderosos oxidantes y pueden reaccionar violentamente con agentes reductores.

De todas formas, muchas sustancias pueden formar peróxidos al almacenarlas en contacto con el aire, y la eliminación de peróxidos no deseados es un problema más importante que la eliminación de reactivos de exceso de peróxidos.

Los peróxidos son sensibles al calor, la fricción, los golpes y la luz. Su peligro potencial es grande ya que su presencia puede ser no sospechada o detectada en disolventes y reactivos habituales. Muchas explosiones pueden tener lugar durante la destilación de sustancias que contienen peróxidos, en especial cuando la destilación se ha realizado en sequedad o en situación próxima de sequedad.

Los compuestos peroxidables deben ser estudiados en sus contenidos de peróxidos antes de utilizarlos. El ensayo simple cualitativo se basa en la oxidación del ión yoduro (I^-) a yodo (I_2) por parte del peróxido. Se añade 1 mL de la sustancia a una disolución recientemente preparada de 100 mg de NaI o KI en 1 mL de ácido acético glacial. El color amarillo indica una baja concentración de peróxido en la mezcla; un color marrón indica una concentración elevada. El ensayo es sensible para los hidroperóxidos (ROOH), que constituyen los peligros principales de los disolventes peroxidables, pero no detecta peróxidos difícilmente reducibles, como los dialquilperóxidos (ROOR). Estos últimos pueden ser detectados por un reactivo preparado en el laboratorio: disolver 3 g de NaI en 50 mL de ácido acético glacial y añadir 2 mL de ácido clorhídrico al 37%. Se puede disponer de papel de ensayo que contiene una peroxidasa para detectar peróxidos orgánicos (incluyendo dialquilperóxidos) y aniones oxidantes (por ejemplo, el anión cromato) colorimétricamente.

Los peróxidos pueden ser eliminados de un disolvente pasándolo a través de una columna de alúmina activada básica, por tratamiento con un tamiz molecular adecuado o por reducción con FeSO_4 . Aunque estos procedimientos eliminan los hidroperóxidos, que son los principales peligros de los disolventes contaminados con peróxidos formados, no eliminan dialquilperóxidos, que están presentes habitualmente en pequeñas cantidades.

Los peróxidos utilizados con asiduidad, como el peróxido de acetilo, el peróxido de benzoilo, el hidroperóxido de t-butilo y el peróxido de di-t-butilo, son menos peligrosos que los peróxidos formados en los disolventes peroxidables, ya que su descomposición y sus propiedades son conocidas.

Procedimientos de destrucción

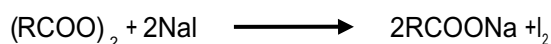
Hidroperóxidos

El uso de una disolución de FeSO_4 acidificada es un procedimiento habitual para destruir hidroperóxidos, que se añaden con agitación y a temperatura ambiente a la disolución, que contiene alrededor del 50% de exceso molar de FeSO_4 .



Diacil peróxidos

Disolver 3,3 g de yoduro de sodio (NaI) o 3,65 g de yoduro de potasio (KI) en 70 mL de ácido acético glacial. Agitar la mezcla a temperatura ambiente y añadir lentamente 0,01 moles de diacil peróxido. La mezcla se oscurece rápidamente por la presencia de yodo. Después de 30 min la mezcla se vierte al desagüe con un gran exceso de agua.



Dialquil peróxidos (ROOR)

Disolver 3,3 g de NaI o 3,65 g de KI en 70 mL de ácido acético glacial y añadir 1 mL de HCl concentrado (36%) para acelerar la reacción. Agitar la mezcla a temperatura ambiente y añadir lentamente 0,01 moles del dialquil peróxido. La mezcla se oscurece por la presencia de yodo. Calentar la mezcla lentamente alrededor de 30 min a 90-100°C en un baño y mantener esta temperatura durante 5 h, y a continuación verterla al desagüe con exceso de agua.

3.5.34. TRIFLUORURO DE BORO Y FLUORUROS INORGÁNICOS

Los fluoruros inorgánicos solubles son altamente tóxicos y venenosos (efectos tóxicos a dosis muy bajas). Los fluoruros se acumulan en el tejido esquelético de los mamíferos por un proceso de sustitución iónica de F por OH⁻. En el hombre los síntomas iniciales de intoxicación por fluoruros son ocasionados por su absorción por la mucosa intestinal y provocan vómitos, dolores abdominales, náuseas y pueden llegar a producir la muerte por parada cardíaca.

Procedimiento de destrucción

Disponer estos compuestos en agua y añadir una disolución de cloruro de calcio (CaCl_2). Filtrar la mezcla de reacción, y eliminar el fluoruro de calcio insoluble y no tóxico como residuo sólido en un vertedero controlado (la degradación del fluoruro de boro (BF_3) puede producir ácido bórico). Eliminar la fase orgánica presente por incineración, y verter la disolución acuosa al desagüe con exceso de agua.



Si el fluoruro es un sólido (fluoruro de aluminio, AlF_3), pequeñas cantidades de éste se pueden eliminar con precaución añadiéndolas sobre agua y neutralizando inmediatamente con Na_2CO_3 . Si el sólido no está completamente disuelto, se puede añadir una pequeña cantidad

de ácido clorhídrico y seguidamente añadir Na_2CO_3 . A continuación, se sigue el procedimiento ya comentado para residuos muy solubles.

Antes de trabajar con fluoruro de hidrógeno (HF) se ha de estar familiarizado con sus propiedades y su manejo. Puede provocar incendios importantes y este riesgo aumenta en función del aumento de concentración en las disoluciones acuosas.

Los residuos acuosos de ácido se pueden añadir lentamente a una disolución agitada de exceso de cal muerta para que precipite fluoruro de calcio, que es químicamente inerte y tiene un peligro y una toxicidad bajos. Si no se forman más de 100 g de CaF_2 , la suspensión se puede verter al desagüe. Si las cantidades son más grandes, han de ser separadas y enviadas a un vertedero controlado.

3.5.35. CLOROMETILSILANOS

Los clorometilsilanos, como el clorotrimetilsilano $((\text{CH}_3)_3\text{SiCl})$, el diclorodimetilsilano $((\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2)$ y el metiltriclorosilano $(\text{CH}_3\text{SiCl}_3)$, son líquidos inflamables, volátiles, tóxicos y corrosivos utilizados en química orgánica. Se deben de transportar con mucha precaución.

Procedimiento de destrucción

Se hidrolizan con precaución añadiendo agua agitada vigorosamente en un balón. La reacción produce ácido clorhídrico y material que contiene silicio polimérico. Eliminar el material insoluble y considerarlo como residuo sólido o líquido. Neutralizar la fase acuosa y verterla al desagüe con exceso de agua.

3.5.36. FÓSFORO Y PENTÓXIDO DE FÓSFORO

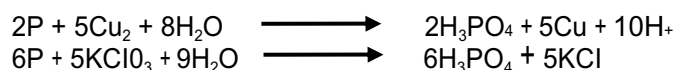
El fósforo se utiliza habitualmente en los laboratorios químicos. El fósforo blanco (a veces llamado fósforo amarillo) es pirofórico y puede explotar cuando reacciona con un determinado número de agentes oxidantes, incluyendo el aire, en el que se inflama espontáneamente. Es un veneno y tiene importantes efectos en la salud, ya que es extraordinariamente tóxico. Puede provocar quemaduras serias por contacto directo con la piel. Dosis de 0,2 mg/kg pueden provocar efectos nocivos para el hombre, y 1 mg/kg en una única dosis puede provocar lesiones gastrointestinales, colapso cardiovascular y estado de coma.

El fósforo rojo no es pirofórico, pero es inflamable y puede explotar cuando se mezcla con un oxidante fuerte, como el KMnO_4 .

El pentóxido de fósforo es corrosivo y reacciona violentamente con el agua. Se utiliza como agente deshidratante en el laboratorio.

Principios de la destrucción

El fósforo blanco es oxidado por el sulfato de cobre (II) a ácido fosfórico y el fósforo rojo es oxidado a ácido fosfórico por el clorato de potasio. El pentóxido de fósforo es hidrolizado a ácido fosfórico.



Procedimientos de destrucción

Fósforo blanco

Se cortan 5 g de fósforo blanco bajo el agua en gránulos que no sean más grandes de 5 mm de lado y se añaden a 800 mL (0,80 moles) de disolución de sulfato de cobre (II) de con-

centración 1 mol L⁻¹ en un balón de 2 L. Se deja la mezcla de reacción con agitación ocasional durante una semana. El fósforo desaparece de una manera gradual, y se forma un precipitado negro de cobre y fosfito de cobre. Si uno de los gránulos más grandes se corta bajo el agua y no se observa la presencia de fósforo blanco la reacción se considera completada. Filtrar el precipitado y, mientras aun está mojado, añadir 500 mL de disolución de hipoclorito de sodio 5,25% recientemente preparada. Agitar la mezcla durante 1 h para oxidar el fosfito de cobre a fosfato de cobre, dado que es una fuente potencial de fosfina (gas tóxico). Verter al desagüe con un exceso de agua la mezcla de reacción.

Fósforo rojo

Añadir 5 g (0,16 moles) de fósforo rojo a una disolución de 33 g de clorato de potasio (0,27 moles, 100% exceso) en 2 L de ácido sulfúrico de concentración 1 mol L⁻¹ y calentar la mezcla a reflujo hasta que todo el fósforo se halla disuelto (habitualmente entre 5 y 10 h, según el tamaño de la partícula de fósforo). Después de enfriar a temperatura ambiente añadir 14 g de NaHSO₃ para reducir el exceso de clorato, y verter la mezcla de reacción al desagüe con un exceso de agua.

Pentóxido de fósforo

Añadir P₂O₅ gradualmente a una mezcla agitada de agua y hielo picado. Antes de verterla se ha de comprobar que no queda P₂O₅ sin reaccionar. Si hay pentóxido de fósforo que no haya reaccionado cuando la mezcla está a temperatura ambiente, se ha de agitar y calentarla en un baño hasta que todo el P₂O₅ esté disuelto. La disolución se neutraliza y se vierte al desagüe con un exceso de agua.

3.5.37 NITROCOMPUESTOS

Los nitrocompuestos alifáticos y aromáticos son relativamente tóxicos y forman compuestos explosivos al ser expuestos a bases fuertes. Algunos compuestos polinitroarilos son poderosos explosivos por ellos mismos. La mayoría de nitrocompuestos, excepto los que son conocidos o sospechosos ser explosivos, han de ser incinerados o vertidos controladamente. Los que son explosivos han de ser eliminados por personas entrenadas en el manejo de estos compuestos, que los hacen detonar bajo condiciones controladas.

3.5.38 4-NITROBIFENILO

El 4-nitrobifenilo (4-NBP) es un sólido cristalino (p.f. 113-114°C) que es insoluble en agua, ligeramente soluble en alcohol y soluble en disolventes orgánicos. Provoca cáncer en animales de experimentación. Se utiliza como intermedio tanto en la industria química como en síntesis orgánica.

Principio de la destrucción

El 4-nitrobifenilo es reducido por el Zn en disolución ácida a 4-aminobifenilo (4-ABP), que es oxidado por el KMnO₄ en H₂SO₄. En la mezcla final de reacción se encuentra menos del 0,2% de 4-NBP o 4-ABP.

Procedimiento de destrucción

Disolver cantidades sólidas de 4-NBP en ácido acético glacial hasta que la concentración no exceda de 1 mg mL⁻¹; diluir las disoluciones de ácido acético glacial, si es necesario,

hasta que la concentración no exceda de 1 mg mL^{-1} , y evaporar los disolventes orgánicos y disponer el residuo en ácido acético glacial hasta que la concentración no exceda de 1 mg mL^{-1} . En cada una de las disoluciones añadir un volumen igual de H_2SO_4 de concentración 2 mol L^{-1} . Tratar estas disoluciones acuosas por adición de un volumen igual de ácido acético glacial, y entonces, con precaución y agitación, añadir 53 mL de H_2SO_4 concentrado por litro de disolución. A cada 20 mL de estas disoluciones acidificadas añadir con agitación 165 mg de zinc en polvo. Agitar la mezcla toda la noche y por cada 20 mL de disolución añadir 10 mL de disolución de KMnO_4 de concentración $0,2 \text{ mol L}^{-1}$. Después de agitar la mezcla durante 10 h, decolorar con ácido ascórbico, neutralizar, comprobar que la destrucción ha sido completa y verterla al desagüe con un exceso de agua.

3.5.39. ÁCIDO PÍCRICO

El ácido pícrico (2,4,6-trinitrofenol) se utiliza en los laboratorios químicos para preparar picratos para la caracterización de compuestos orgánicos. También se utiliza en tinciones histológicas. Cuando está húmedo es bastante estable, pero en forma seca es explosivo. Puede formar también sales explosivas con muchos metales y provocar en el hombre reacciones locales y sistémicas con una variedad de síntomas. Sólo se ha de degradar el ácido pícrico húmedo. Si tenemos ácido pícrico seco debemos buscar colaboración profesional.

Principio de la destrucción

Los grupos nitro del ácido pícrico pueden ser reducidos utilizando sulfuro de sodio o estaño en ácido clorhídrico (HCl). Aunque el producto teórico ha de ser el 2,4,6-triaminofenol, es probable que la reducción no sea completa. En consecuencia, después de que la reducción se halla detenido, la oxidación con el aire convertirá el producto en una mezcla de nitrosaminas, dímeros diversos y otros compuestos peligrosos, pero al menos no serán explosivos. Los productos de estas reacciones se han de eliminar como residuos peligrosos.

Procedimientos de destrucción

Destrucción de cantidades sólidas

A. Disolver 0,13 g de hidróxido de sodio (NaOH) en 25 mL de agua, y a continuación añadir 2,7 g de sulfuro de sodio (Na_2S). Cuando el sulfuro de sodio se halla disuelto, añadir 1 g de ácido pícrico. Cuando la reacción parezca acabada, eliminar la mezcla con los residuos peligrosos.

B. Agitar 1 g de ácido pícrico, 10 mL de agua y 4 g de estaño granulado en un matraz que se enfría con un baño de hielo. Añadir con mucho cuidado ácido clorhídrico (HCl) concentrado (15 mL) y, cuando la adición se halla completado, permitir que la mezcla de reacción se caliente a temperatura ambiente. Después de un reflujo de 1 h, enfriar y filtrar. Lavar el estaño que no ha reaccionado con 10 mL de HCl de concentración 2 mol L^{-1} y neutralizar el filtrado con NaOH al 10%. Refiltrar para eliminar el cloruro de estaño y considerar el filtrado como un residuo acuoso peligroso. Considerar el estaño no reaccionado y el cloruro de estaño como residuos sólidos.

Descontaminación de disoluciones acuosas diluidas

Diluir con agua la disolución acuosa de ácido pícrico, si es necesario, hasta que la concentración no exceda del 0,4%. Entonces, por cada 100 mL de disolución añadir 2 mL de ácido clorhídrico concentrado para tener un pH de 2. Añadir estaño granulado (1 g) y dejar la mezcla a temperatura ambiente. Después de aproximadamente 14 días el ácido pícrico está completamente degradado. Eliminar la mezcla de reacción como residuo acuoso peligroso.

3.5.40. HIDRUROS COMPLEJOS METÁLICOS

Los hidruros complejos metálicos son utilizados ampliamente en síntesis orgánica. Son generalmente sensibles en el aire y en el agua, y pueden ser pirofóricos. La reacción vigorosa con agua puede encender hidrocarburos inflamables generalmente utilizados como disolventes con estos tipos de reactivos.

En la reacción con agua, se libera hidrógeno inflamable. El hidruro de calcio (CaH_2), el hidruro de litio y aluminio (LiAlH_4), el hidruro de sodio (NaH) y el borohidruro de sodio (NaBH_4) pueden reaccionar violentamente con una variedad de compuestos orgánicos y inorgánicos. Además, el NaBH_4 es tóxico por ingestión.

Principio de la destrucción

Los métodos para su eliminación que se describen a continuación ponen de manifiesto que la reactividad de los hidruros metálicos varía en un amplio rango.

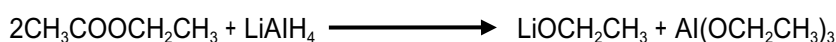
Se deja reaccionar el hidruro lentamente con agua, alcohol o acetato de etilo bajo condiciones controladas. El NaBH_4 es más estable y se ha de utilizar ácido acético para provocar su descomposición.

Procedimientos de destrucción

LiAlH_4

A. Suspender el LiAlH_4 en un disolvente adecuado (éter dietílico, tetrahidrofurano, tolueno u otros) a 0°C y por cada n gramos de LiAlH_4 , añadir lentamente n mL de agua bajo atmósfera de nitrógeno. Seguidamente añadir n mL de disolución de NaOH al 15% y 3 n mL de agua y agitar la mezcla vigorosamente durante 20 min. A continuación filtrar el precipitado granulado que se forma. Separar las fases acuosa y orgánica del filtrado, y verter la fase acuosa al desagüe con exceso de agua. La fase orgánica se trata como residuo para incinerar.

B. Agitar el LiAlH_4 bajo atmósfera de nitrógeno en un disolvente adecuado utilizando un baño de hielo, y añadir lentamente AcOEt , que reacciona menos vigorosamente que el agua y no genera hidrógeno. Cuando la reacción se haya completado, añadir disolución saturada de NH_4Cl , filtrar la mezcla y separar las fases acuosa y orgánica (para incinerar) del filtrado, y verter la fase acuosa al desagüe con exceso de agua.



NaBH_4

El NaBH_4 es relativamente estable en agua y se necesita ácido para descomponerlo. Disolver el compuesto sólido en agua y diluir las disoluciones acuosas con agua si es necesario, hasta que la concentración no exceda del 3%. Añadir ácido acético diluido gota a gota con agitación bajo atmósfera de nitrógeno. Verter al desagüe cuando la reacción se haya acabado.

Hidruro de sodio (NaH)

El hidruro de sodio en estado seco es pirofórico. El hidruro de sodio se encuentra generalmente mezclado con un aceite mineral como dispersor de seguridad. Añadir un disolvente hidrocarbonato seco (por ejemplo, heptano) hasta que la concentración de hidruro no exceda del 5% y agitar la mezcla bajo atmósfera de nitrógeno. Añadir exceso de alcohol t- butílico gota a gota seguido por adición de agua fría. Separar las fases y verterlas al desagüe (fase orgánica al incinerador).

Hidruro de calcio (CaH₂)

El hidruro de calcio es adquirido en forma de polvo, habitualmente para secar éteres, ésteres, alcoholes con más de tres carbonos y otros disolventes.

Por cada gramo de hidruro añadir 25 mL de metanol, con agitación, bajo atmósfera de nitrógeno. Cuando la reacción haya acabado añadir al menos un volumen igual de agua y verter al desagüe.

Compuestos relacionados

Los hidruros complejos metálicos varían mucho en su reactividad y la aplicación de alguno de los anteriores a otro hidruro podría ser peligroso, con lo que se ha de investigar con precaución antes de utilizarlo. De todas formas, el principio de permitir que el hidruro reaccione con un sustrato menos reactivo que el agua de una manera lenta y controlada ha de ser aplicable.

3.5.41. HIDRUROS DE ELEMENTOS NO METÁLICOS

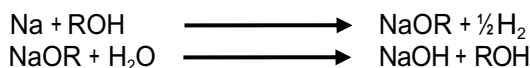
Los hidruros de elementos no metálicos, como el B₂H₆, el PH₃ y el AsH₃, son sensibles a la oxidación por la mayoría de los agentes oxidantes, y muchos son pirofóricos. Pueden ser oxidados a materiales seguros por CuSO₄ acuoso, como se ha descrito anteriormente para el fósforo blanco. Para evitar una reacción violenta con el aire, la oxidación se ha de realizar bajo atmósfera de nitrógeno, y es adecuado utilizar un balón de tres bocas equipado con agitador, entrada de nitrógeno y embudo de adición, y si el hidruro es gas, se necesita una entrada de gas. La mezcla de reacción se trata posteriormente como se describe en el caso del fósforo blanco.

3.5.42. METALES ALCALINOS

Los metales alcalinos, como el sodio (Na), el potasio (K) y el litio (Li), reaccionan violentamente con el agua, con disolventes hidroxílicos, con hidrocarburos halógenados o con el aire húmedo para generar hidrógeno, que puede ser inflamado por el calor de la reacción. Son corrosivos de la piel e incompatibles con muchas sustancias orgánicas y inorgánicas. El potasio puede oxidarse durante el almacenamiento, y el metal oxidado (que forma peróxidos explosivos) puede explotar violentamente cuando se manipula o se corta (exposición al aire). Estos metales se utilizan en síntesis orgánica como agentes desecantes. Se ha de tener infraestructura especial para extinguir el fuego.

Principio de la destrucción

Los metales pueden reaccionar con un alcohol de una manera lenta y controlada para generar el alcóxido metálico y hidrógeno. El hidrógeno se elimina por la vitrina, y el alcóxido metálico es hidrolizado a continuación con agua para dar el hidróxido metálico y el alcohol.



Procedimientos de destrucción

Estos procedimientos presentan un peligro elevado de incendio, por lo que se deben de tomar las debidas precauciones.

Sodio y litio

Añadir el sodio o el litio (cortado en pequeñas piezas sumergido en un hidrocarburo) sobre etanol frío de forma que la reacción no se vuelva violenta. Si la mezcla de reacción pasa

a ser viscosa y la reacción se detiene, se ha de añadir más etanol. Cuando todo el sodio o el litio ha sido añadido, agitar la mezcla de reacción hasta que la reacción se detenga y entonces se examina con cuidado la presencia de metal no reaccionado. Si no queda metal sin reaccionar diluir la mezcla con agua, neutralizar con H_2SO_4 de concentración 6 mol L⁻¹ o HCl y verterla al desagüe con un exceso de agua.

Potasio

El potasio es el más peligroso de los metales alcalinos, y el incendio durante su destrucción no es infrecuente.

Añadir potasio a alcohol tert-butílico (un alcohol poco reactivo) controlando que la reacción no se vuelva violenta. Si la mezcla de reacción pasa a ser viscosa y la reacción tiene tendencia a detenerse, se ha de añadir más alcohol tert-butílico. Cuando todo el potasio haya sido añadido, agitar la mezcla de reacción hasta que la reacción se detenga y entonces se examina con cuidado la presencia de metal no reaccionado. Si no se encuentra, diluir la mezcla de reacción con agua, neutralizar y verterla al desagüe con un exceso de agua. El alcohol tert-amílico puede ser utilizado como alternativa. Sea cual sea el alcohol utilizado, es importante que sea anhidro. Si es necesario, el alcohol se seca antes de utilizarlo, para lo que se aconseja un tamiz molecular de 3 Å.

3.5.43. CROMO

El Cr (VI) es un oxidante y un cancerígeno (tiene facilidad para atravesar las membranas biológicas) en humanos y en animales de experimentación. Es ampliamente utilizado en síntesis orgánica y es uno de los constituyentes peligrosos del ácido crómico. Dado que los compuestos que contienen Cr (VI) son poderosos oxidantes, pueden reaccionar violentamente con una amplia variedad de compuestos orgánicos y inorgánicos. El ácido crómico y sus sales son venenosos y corrosivos de la piel y de las membranas mucosas y forman úlceras que son lentas de curar.

Los compuestos que se degradan con este procedimiento son el óxido de cromo (VI) (CrO_3), el dicromato de sodio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), el dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), el dicromato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), el ácido crómico (una disolución de Cr (VI) en ácido sulfúrico concentrado) y la disolución comercial disponible Chromerge, en sus presentaciones diluida y concentrada.

Principio de la destrucción

El Cr (VI) es reducido a Cr (III) (que no es un oxidante) utilizando metabisulfito de sodio, y el Cr (III) es precipitado por basificación con hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Los hidróxidos de sodio y de potasio dan un precipitado gelatinoso difícil de filtrar. Precipitados que sean fáciles de se pueden obtener mediante el control cuidadoso del pH, pero el $\text{Mg}(\text{OH})_2$ produce automáticamente el pH correcto y el precipitado en forma de fango es relativamente fácil de filtrar. El filtrado claro es ligeramente básico (pH entre 7,1 y 9,2) y no contiene trazas de Cr (VI) (< 0,25 ppm) y sólo cantidades traza de Cr (III).

Procedimientos de destrucción

Eliminación de cantidades sólidas de compuestos que contienen Cr (VI)

Agitar el compuesto de Cr (5 g) en 100 mL de H_2SO_4 de concentración 0,5 mol L⁻¹. Cuando este completamente disuelto, añadir 10 g de metabisulfito de sodio. Agitar la mezcla durante 1 h y dejarla enfriar con pequeñas cantidades de disolución de KI (100 mg mL⁻¹). Un

color oscuro indica que el Cr (VI) aun está presente. Si el Cr (VI) aun está presente, añadir metabisulfito de sodio hasta obtener una prueba negativa. Añadir $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (6 g) a la mezcla de reacción y agitarla durante 1 h, y después dejarla toda la noche. Decantar la mezcla en un aparato con filtro de succión, hasta que el líquido claro sea filtrado primero, y el precipitado verde esté seco. Si el filtrado es amarillo, entonces puede indicar la presencia de Cr (VI). Comprobar utilizando el test de KI (acidificar primero con un poco de H_2SO_4 diluido). Si el Cr (VI) está presente en el filtrado, acidificar con H_2SO_4 y repetir el proceso.

Si la reacción ha de realizarse a más gran escala que la descrita anteriormente, se ha de considerar el calor que se genera, particularmente cuando se añade el metabisulfito de sodio, y puede ser necesario ampliar el tiempo entre reacciones para permitir el enfriamiento.

Eliminación de disoluciones que contienen Cr (VI)

Cuidadosamente añadir la disolución de cromo (10 mL) con agitación a 60 mL de agua y agitar la mezcla durante al menos 1 h enfriando al mismo tiempo. Añadir 10 mL de disolución de metabisulfito de sodio (100 mg mL^{-1}) y agitar la mezcla durante unos minutos, comprobando la presencia de Cr (VI). Mezclar unas pequeñas cantidades de la mezcla de reacción con unas pequeñas cantidades de disolución de KI (1 mg mL^{-1}). Un color oscuro indica que el Cr (VI) aun está presente. Si el Cr (VI) aun está presente, añadir metabisulfito de sodio hasta obtener una prueba negativa. Añadir $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (12 g) a la mezcla de reacción y agitarla durante 1 h, y después dejarla toda la noche. Decantar la mezcla a un aparato con filtro de succión, hasta que el líquido claro sea filtrado primero, y el precipitado verde esté seco. Si el filtrado es amarillo, entonces puede indicar la presencia de Cr (VI). Comprobar utilizando el test de KI (acidificar primero con un poco de H_2SO_4 diluido). Si el Cr (VI) está presente al filtrado, acidificar con H_2SO_4 y repetir el proceso.

Compuestos relacionados

Este procedimiento es específico para al Cr (VI) y no se ha de utilizar para ningún otro metal pesado.

3.5.44. COMPUESTOS ORGANOMETÁLICOS SENSIBLES AL AIRE O AL AGUA

Ejemplos habituales de este grupo son los reactivos de Grignard, los compuestos alquiliticos o aril líticos y trialquil alumínicos, que son preparados o utilizados como soluciones diluidas en un éter o un hidrocarburo. Menos habituales son los aril sodio o los dialquil zíncicos.

Los compuestos trialquil alumínicos sódicos y los dialquil zíncicos son a veces preparados y almacenados libres de disolvente. El primer paso al descomponer estos compuestos es disolverlos bajo nitrógeno en 20 volúmenes de tolueno seco, heptano o algún otro hidrocarburo para hacer menos probable la ignición y más fácil el tratamiento.

Una disolución del organometálico (en una concentración menor del 5%) en un hidrocarburo o en un éter se coloca en un balón de tres bocas equipado con agitador, embudo de adición, entrada de nitrógeno y baño de hielo. Un exceso del 10% de alcohol t-butílico disuelto en un hidrocarburo se añade gota a gota y bajo nitrógeno a la disolución bien agitada. A continuación, se añade agua fría y entonces HCl al 5% hasta neutralizar la fase acuosa. Se separan las fases orgánica y acuosa y se eliminan adecuadamente.

3.5.45. COMPUESTOS ORGANOMERCÚRICOS

El mercurio está reconocido como uno de los principales contaminantes presentes en el medio ambiente. La toxicidad del mercurio viene potenciada por efectos sinérgicos con otros

metales, como el cobre, mientras que existe un efecto antagónico con el selenio. El dimetilmercurio es un compuesto volátil y extremadamente peligroso por inhalación o contacto con la piel, y se ha de manejar con mucho cuidado.

Los compuestos organomercúricos, como el R_2Hg y el $RHgX$, no han de ser incinerados ya que el mercurio puede ser volatilizado. En muchos casos pueden ser oxidados con un exceso del 25% de $NaClO$.



Con motivo de su insolubilidad en el agua, esta reacción puede ser lenta. En este caso la adición de disolución de bromo en tetracloruro de carbono a la disolución o suspensión del compuesto organomercúrico en CCl_4 dará lugar a la oxidación a bromuro de mercurio, que puede ser separado y enviado a un vertedero controlado.

3.5.46. TETRAÓXIDO DE OSMIO

El tetraóxido de osmio (OSO_4) es un sólido de bajo punto de fusión ($39,5-41^\circ C$, p. e. $130^\circ C$). Es bastante volátil y sus vapores irritan y queman seriamente los ojos y afectan los pulmones. Es utilizado ampliamente en química orgánica sintética y en laboratorios de microscopía electrónica.

Principio de la destrucción

El tetraóxido de osmio reacciona con los dobles enlaces carbono-carbono para formar un diéster muy estable. En esta forma el OSO_4 no es volátil. El aceite de trigo contiene una gran proporción de dobles enlaces y es un agente efectivo para la neutralización del OSO_4 . Aunque este procedimiento elimina los peligros provocados por la volatilidad del OSO_4 , el material aun contiene osmio y ha de ser eliminado como residuo que contiene metales pesados. Ha sido publicado que el OSO_4 puede ser reducido a dióxido por reacción con una olefina, burbujeo de H_2S a través de la disolución y eliminación del dióxido de osmio por filtración.

Procedimientos de eliminación

Cantidades sólidas y residuos en recipientes

Colocar los residuos sólidos en un recipiente y añadir el aceite de trigo. Comprobar que la destrucción ha sido completa.

Disoluciones acuosas (2%)

Si tenemos una disolución con OSO_4 añadir el doble de volumen de aceite de trigo y comprobar que la destrucción ha sido completa.

Compuestos relacionados

Este método es específico para el OSO_4 .

3.5.47. COMPUESTOS DE ARSÉNICO, PLOMO, SELENIO Y TALIO

El arsénico y sus compuestos tienen múltiples utilidades y acostumbran a presentarse como arsénico elemental, catión trivalente o catión pentavalente. Su toxicidad viene condicionada por una exposición continua, que puede provocar la aparición de cáncer fundamentalmente pulmonar.

El plomo y sus compuestos son tóxicos por acumulación y pueden causar toxicidad crónica, lo que puede producir daños cerebrales, anemia, impermeabilidad renal y disfunciones neurológicas.

La toxicidad del talio y sus compuestos es muy elevada tanto para el hombre como para otros organismos inferiores. Los factores de acumulación del talio en los peces son más elevados que para otros metales. En el hombre se absorbe a través de las mucosas y de la piel, y está distribuido ampliamente por el cuerpo y se acumula en los huesos, la médula renal y ocasionalmente en el sistema nervioso central. Pasa a través de la placenta y se encuentra en la leche; se elimina fundamentalmente por la orina.

El selenio tiene propiedades parecidas al azufre, aunque es más reactivo que este y por tanto sus compuestos son menos estables. Sus formas orgánicas son retenidas en el cuerpo en mayor proporción que las inorgánicas, y puede acumularse directamente a través del agua o de la cadena alimentaria. El selenio inhalado como vapor o como partículas provoca graves irritaciones en las mucosas y en el tracto respiratorio del hombre, y sobre la piel puede provocar ampollas y infecciones.

Principio de la destrucción

Estos compuestos se transforman en sales insolubles (sulfuros).

Procedimiento de destrucción

Disolver el compuesto en ácido clorhídrico (HCl), diluir la disolución y saturar con corriente de ácido sulfhídrico trabajando en una vitrina bien aireada. El sulfuro precipitado se lava y se envía a un vertedero controlado.

3.5.48. COMPUESTOS DE BARIO

Principio de la destrucción

Estos compuestos se transforman en sales insolubles (carbonatos).

Procedimiento de destrucción

Disolver el compuesto en ácido, neutralizar con precaución con hidróxido de amonio y precipitar por adición de Na_2CO_3 . El precipitado de carbonato que se forma se lava y se envía a un vertedero controlado.

3.5.49. ALQUILOS Y ARILOS DE ELEMENTOS NO METÁLICOS

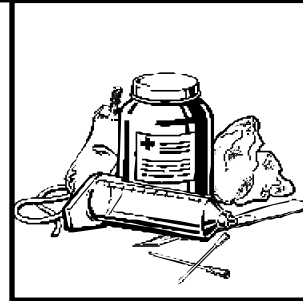
Los alquilos y los ariolos de elementos no metálicos, como el BR_3 , el PR_3 y el AsR_3 , son sensibles a la oxidación por el aire y otros agentes oxidantes, aunque los ariolos son más estables que los alquilos. Muchos de estos compuestos son altamente tóxicos. Al igual que los sulfuros inorgánicos, muchos de estos compuestos pueden ser oxidados por un exceso del 25% de NaClO a sus correspondientes óxidos, que no son pirofóricos y pueden ser vertidos en un vertedero controlado.

Los hidruros alquílicos de elementos no metálicos, como el R_2PH y el RAsH_2 , son generalmente descompuestos por el procedimiento del hipoclorito. De todas formas, algunos son rápidamente oxidados con reacción violenta con el aire, y por esto se ha de utilizar la oxidación con CuSO_4 descrita para los hidruros de elementos no metálicos (apartado 3.5.41).

BIBLIOGRAFÍA

- ARMOUR, M. A. (1991): Hazardous Laboratory Chemicals: Disposal Guide. Boca Raton, FL.: CRC Press, 1991.
- CLAVERO, J.M.; YSERN, P.; GALLEGU B.; TRAVESA, F.; GADEA, E.; GUARDINO, X. (1998): La gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación. Notas técnicas de prevención, NTP 480-1998. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Committee on Hazardous Substances in the laboratory (1983): Prudent practices for disposal of chemicals from laboratories. National Academy Press. Washington DC. USA. 1983.
- HUICI MONTAGUD, A. (1985): Absorción de tóxicos. Documentos técnicos, 42:85. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- LEWIS, R. J. Sr (1990): Hazardous chemicals desk reference. Ed. Van Nostrand Reinhold.
- LUNN, G.; SANSONE, E. B. (1990): Destruction of Hazardous Chemicals in the Laboratory. Nova York: Wiley, 1990.
- NADAL ALBIOL, N. (1985): La manipulación de productos químicos potencialmente cancerígenos en los laboratorios. Documentos técnicos, 43:86. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- PANREAC (1997): Seguridad en los laboratorios químicos. Panreac Química, S.A.
- PICOT, A.; GRENOUILLET, B. (1992): La Sécurité en le Laboratoire de Chimie et de Biochimie. París: Technique Documentation-Lavoisier, 1992.

4. RESIDUOS SANITARIOS



4.1. INTRODUCCIÓN

Los tipos de residuos que se pueden encontrar en un centro sanitario o en un laboratorio experimental o de investigación relacionado pueden ser muy diversos. Si estos residuos no son gestionados de manera adecuada pueden suponer un riesgo para la salud, especialmente para la de los pacientes y los colectivos laborales, y una amenaza para el medio ambiente.

Los residuos generados como resultado de la actividad sanitaria, es decir, en centros sanitarios y laboratorios asociados, se clasifican en cuatro grupos, en función de su origen y su riesgo de infección o peligrosidad:

a) Residuos sin riesgo o inespecíficos:

Grupo I. Son residuos municipales que por naturaleza y composición son inertes y no especiales y no requieren exigencias especiales de gestión ni dentro ni fuera del centro generador. Este tipo de residuos incluye materiales como el cartón, papel, material de oficinas y despachos, cocinas, bares, comedores, talleres, jardinería, y en general los residuos que no derivan directamente de una actividad sanitaria.

Grupo II. Son residuos inertes y no especiales que no plantean exigencias especiales en su gestión fuera del centro generador, y se consideran residuos municipales. Dentro del centro generador sí que pueden suponer un riesgo de infección si no son manipulados correctamente. Estos tipos de residuos incluyen material de curas, yesos, ropas y material de un sólo uso manchados con sangre, secreciones y/o excreciones, así como otros residuos no englobados dentro de la categoría de los residuos sanitarios de riesgo.

b) Residuos de riesgo o específicos:

Grupo III. Son residuos especiales que requieren la adopción de medidas de prevención en la recogida, el almacenamiento, el transporte, el tratamiento y disposición del rechazo, tanto dentro como fuera del centro generador, ya que pueden generar un riesgo para la salud laboral y pública. Estos residuos son la sangre y hemoderivados en forma líquida, agujas y material punzante y cortante, vacunas vivas y atenuadas, residuos anatómicos (excepto cadáveres y restos humanos con entidad suficiente procedentes de abortos, mutilaciones y operaciones quirúrgicas), cultivos y reservas de agentes infecciosos, residuos de animales de investigación y/o experimentación inoculados biológicamente, y el resto de residuos sanitarios infecciosos. Se consideran a este efecto residuos sanitarios infecciosos los residuos capaces de transmitir alguna de las enfermedades infecciosas que figuran en el anexo del Decreto 27/1999 (DOGC de 16 de febrero de 1999), y todos los residuos procedentes de enfermos que por necesidades de aislamiento, y a criterio del centro generador, puedan ser incluidos en este grupo.

Grupo IV. Son los residuos especiales no incluidos en el grupo III y los residuos citotóxicos, es decir, los compuestos por restos de medicamentos citotóxicos y todo el material que

está en contacto con ellos que presente propiedades cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas, como también los restos de sustancias químicas, los medicamentos caducados, los aceites minerales, los residuos de laboratorios radiológicos y los residuos radiactivos, objeto de regulación en normas específicas. Para su gestión estos residuos están sujetos a requerimientos especiales desde el punto de vista higiénico y medio ambiental, tanto dentro como fuera del centro generador.

Así, dentro de los residuos del grupo IV se pueden definir los subgrupos siguientes:

- *Residuos citotóxicos (RC)*: restos de medicamentos antineoplásticos y cualquier material de un sólo uso contaminado con estos fármacos. Se trata de residuos sanitarios peligrosos (cancerígenos, mutagénicos y tóxicos para la reproducción) específicos de la actividad sanitaria.
- *Residuos químicos*: son residuos contaminados con productos de naturaleza química que les dan carácter de residuo industrial especial. Se trata de residuos no específicos de la actividad sanitaria y que comprenden materiales muy diversos, como pilas, termómetros, disolventes, reactivos químicos, baños de revelado de radiografías, medicamentos, lubricantes, etc. El tratamiento y la gestión se han considerado en el capítulo 3. A pesar de esto, a algunos, como termómetros (mercurio), pilas y baterías, se les han de aplicar criterios específicos de recogida y selección.
- *Residuos radiactivos*: material de rechazo contaminado con sustancias radiactivas. La recolección y la eliminación son competencia exclusiva de ENRESA. Se tratan en un capítulo específico (capítulo 6).
- *Restos anatómicos humanos* de entidad: cadáveres y restos humanos de entidad suficiente, procedentes de salas de disección. La gestión queda regulada por el Reglamento de policía sanitaria mortuoria (Decreto 2263/74, de 20 de julio, BOE de 17 de agosto de 1974). Han de eliminarse por inhumación o cremación.
- *Aceites minerales y sintéticos*: según la orden de 6 de setiembre de 1988, se entiende por aceite usado cualquier aceite industrial con base mineral o lubricante que se haya vuelto inadecuado para el uso a que se hubiese asignado inicialmente y, en particular, los aceites usados de los motores de combustión y de los sistemas de transmisión, los aceites minerales lubricantes y los aceites para turbinas y sistemas hidráulicos. Cualquier aceite usado ha de ser recogido por un tratador autorizado y ser tratado adecuadamente.
- *Medicamentos caducados* (excepto citotóxicos).
- *Residuos con metales*: quedarían incluidos en el capítulo 3, de gestión de residuos químicos.

Así, y según el Decreto 27/1999 (DOGC de 16 de febrero de 1999), se consideran residuos sanitarios (como específicos de la actividad sanitaria) los englobados dentro de los grupos:

- *Residuos sanitarios no específicos (RSNE)*: corresponden a los residuos del grupo II.
- *Residuos sanitarios específicos (RSE)*: corresponden a los residuos del grupo III.
- *Residuos citotóxicos*: corresponden a parte de los residuos del grupo IV.

El conjunto de residuos sanitarios específicos (grupo III) y no específicos (grupo II) recibe el nombre de residuos biosanitarios.

4.2. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SANITARIOS

A causa de las características específicas de los residuos generados en las actividades sanitarias y del riesgo de infección que suponen algunos de estos residuos, la gestión ha de ser muy cuidadosa. Así, la ordenación y la gestión correctas de estos residuos permiten dis-

minuir el posible riesgo hacia la salud y el medio ambiente derivado de una deficiente gestión intracentro a la vez que minimizan los costes de la gestión de residuos sanitarios.

Los últimos años se ha hecho un uso abusivo de material rechazable y ha aumentado considerablemente la cantidad de residuos generados. Por tanto se ha de limitar el uso de material rechazable sólo para los trabajos que suponen un peligro de infección.

La descontaminación y la eliminación de residuos son operaciones íntimamente relacionadas, ya que la desinfección o la esterilización constituyen la primera fase de la eliminación. La gran mayoría del material y de los equipos se pueden volver a utilizar una vez esterilizados o desinfectados, como el material de vidrio, el instrumental o la ropa de trabajo. Con el tiempo, todos los materiales y elementos de un equipo han de eliminarse.

Por otro lado, es importante señalar que según el Decreto 27/1999 (DOGC de 16 de febrero de 1999) los centros, los servicios y los establecimientos que producen residuos sanitarios deberán tener y llevar al día un libro oficial de control a disposición de los funcionarios y las autoridades competentes, en el que se deberán hacer constar los datos siguientes:

- La unidad asistencial o servicio generador de residuos.
- La fecha de entrega de los residuos específicos o de riesgo al transportista o al gestor autorizado.
- El volumen de residuos objeto de entrega correspondientes a los grupos II, III y citotóxicos.
- El nº de la ficha de aceptación y de la hoja de seguimiento.
- Las incidencias. En el caso de que se produzcan el centro, el servicio o el establecimiento generador ha de elaborar un informe explicativo, complementario del libro oficial de control, en el que consten los hechos producidos y las medidas correctoras adoptadas. Cualquier incidencia ha de ser inmediatamente comunicada a la "Direcció General de Salut Pública" del "Departament de Sanitat i Seguretat Social".

Este libro oficial de control se ha de solicitar a la "Direcció General de Salut Pública". También deberán enviar el primer trimestre de cada año un resumen escrito de los volúmenes de residuos correspondientes a los grupos II, III y citotóxicos generados el año anterior a la Direcció General de Salut Pública, que tramitará anualmente los datos de producción de estos centros a la Junta de Residuos.

Identificación y clasificación

La identificación y la segregación de los residuos sanitarios se ha de realizar a partir de las definiciones y las procedencias indicadas anteriormente. Esta clasificación se basa, fundamentalmente, en la naturaleza de los residuos y sus riesgos asociados y se adapta al ordenamiento jurídico vigente en Cataluña en materia de residuos. Esto permite una manipulación posterior adecuada y una disminución de los riesgos de accidentes e infecciones específicos para cada tipo de residuo.

Recogida y acumulación

Una vez realizada una correcta identificación y clasificación de los tipos de residuos sanitarios, estos se recogerán utilizando recipientes de residuos específicos para cada tipo y no mezclándolos nunca.

En cualquier caso, en las zonas de producción de residuos sanitarios las bolsas de recogida han de estar depositadas en todo momento dentro de un contenedor o estructura de soporte.

Esta recogida ha de seguir criterios de asepsia, inocuidad y economía.

La acumulación puede ser de dos tipos:

- *Acumulación local*: cuando los residuos se depositen en un envase situado en la misma estancia donde se generan (o en otra anexa, directamente conectada).

- *Acumulación centralizada:* cuando los residuos generados en estancias diferentes se concentren en un único punto. Se realiza normalmente en el almacén intermedio, que es donde se guardan provisionalmente los envases llenos de residuos, para dirigirse posteriormente al área de tratamiento interno o al área de almacenaje final.

El almacén intermedio es útil para acumular los residuos sanitarios en sus envases o para centralizar la recogida de los envases llenos hacia el almacén final. Este almacenamiento, se ha de realizar únicamente en estancias seleccionadas para esta función, aunque no hace falta que sean exclusivas, pero no se ha de hacer nunca en estancias donde haya actividad sanitaria, ni en las zonas de paso, aunque sólo sea por un espacio de tiempo breve. Se recomienda que los residuos se evacúen de los diferentes servicios con una frecuencia mínima de 12 horas, excepto los envases para residuos punzantes o cortantes, que pueden estar más tiempo en uso.

El almacén intermedio ha de ser fácil de limpiar y, si es posible, conviene que disponga de ventilación, un lavamanos (especialmente si es de uso múltiple) y un desagüe para facilitar la limpieza.

Tratamiento intracentro

Los residuos sanitarios no pueden ser recuperados ni pueden utilizarse como materia prima ni como combustible alternativo. Esto quiere decir que han de ser tratados y depositados correctamente. Por tanto, un punto a tener muy en cuenta es la prevención en su generación (disminuir la cantidad generada), así como la segregación correcta para no contaminar otros residuos que sí que sean valorizables. Hay que decir que el tratamiento intracentro no es obligatorio pero sí recomendable en el caso de residuos infecciosos (Grupo III): es conveniente desinfectarlos como paso previo a su recogida para evitar posibles accidentes.

Las principales opciones de tratamiento y disposición de los residuos sanitarios son las siguientes:

TIPOS DE RESIDUO	Desinfección por autoclave	Vertido de líquido por el desagüe	Incineración específica (externo)	Disposición como RAM (externo)
RSNE	Optativo	Sí	Optativo	Sí
RSE: líquidos contaminados con agentes infecciosos no endémicos. Cultivos líquidos de microbiología	Sí	No	Sí	No
RSE: resto de líquidos biológicos	Optativo	Sí	Sí	No
RSE: anatómicos	Sí	No	Sí	No
RSE: resto	Sí	No	Sí	No
RC	No	No	Sí	No

Los residuos del grupo I (residuos asimilables a municipales-RAM) no son, de hecho, residuos específicos de la actividad sanitaria, y por tanto no requieren ningún tipo de tratamiento especial, ya que corresponden a residuos urbanos. Este tipo de residuos no se trata en este manual, ya que su gestión es independiente de la de los residuos especiales.

Traslado

Es recomendable que los residuos sanitarios recogidos en las diferentes áreas del centro sean trasladados al almacén de residuos con una periodicidad máxima de 12 horas.

Los contenedores o las estructuras de soporte y los sistemas de transporte han de limpiarse en lugares adecuados con agua a presión, detergentes y lejía. Esta limpieza ha de realizarse después de cada uso. Con una periodicidad más grande, se ha de realizar una desinfección más profunda con el desinfectante de superficies que utilice el centro.

Es recomendable que, tanto los sistemas de transporte como los contenedores de los centros generadores de residuos, sean estructuras sin esquinas, que faciliten al máximo el proceso de limpieza. Se desaconseja la utilización de bajantes como sistema de traslado interno de los residuos, ya que por roturas o otras causas pueden formarse depósitos de agentes infecciosos.

No se han de dejar bolsas ni recipientes de residuos en lugares no previstos, si no es la zona donde se han producido, o bien en el almacén. A estos efectos se delimitarán y se definirán las zonas intermedias de almacenaje de los residuos, convenientemente señalizadas, donde se depositarán en espera de la recogida y el traslado hacia el almacén central. No es imprescindible utilizar circuitos exclusivos para trasladar los carros de residuos, pero si hay la posibilidad de utilizar circuitos diferenciados se han de utilizar.

Tanto las bolsas como los recipientes estarán fabricados preferentemente con material reciclado.

Un de los problemas más importantes que pueden aparecer durante el transporte de los residuos es la rotura de las bolsas. Para evitarlo se ha de:

- Utilizar bolsas de galga adecuada (nunca inferior a 220).
- No almacenar las bolsas una sobre otra; las bolsas han de colocarse una al lado de otra sobre una superficie horizontal.
- Dentro de la estructura o carro de transporte no se han de comprimir para poder transportar una mayor cantidad en un sólo trayecto, ni se puede sobrepasar el nivel que permita el cierre de la tapa del carro. La capacidad máxima de los carros ha de ser inferior a los 3.000 L. Deberán ser de fácil limpieza y desinfección, y no ha de haber en su interior elementos perforantes.
- Nunca deberán de arrastrarse las bolsas por el suelo, si no que han de utilizarse los sistemas de traslado adecuados.

El personal que transporta los residuos ha de llevar guantes resistentes a los pinchazos por agujas, vidrios y otros materiales punzantes y que no se puedan agujerear pero que a la vez se adapten y sean cómodos. Este personal ha de disponer de ropa exclusiva para este trabajo y en el momento de acabarlo han de tener a su disposición un baño con ducha y ropa limpia. Siempre que durante la manipulación se sospeche que puedan producirse aerosoles o salpicaduras, se han de utilizar gafas y mascarilla.

Almacenaje final

Los residuos sanitarios generados en los centros hospitalarios se podrán almacenar en el mismo centro durante un período máximo de 72 horas, que se puede alargar a una semana si el almacén de residuos dispone de un sistema de refrigeración adecuado (temperatura máxima 4°C).

Los residuos sanitarios generados en centros, servicios y establecimientos no hospitalarios se podrán almacenar dentro del mismo centro en función del volumen de producción y de las características del residuo y durante un período máximo de un mes.

De acuerdo con el Decreto 27/1999 (DOGC de 16 de febrero de 1999), el almacén final de los residuos sanitarios ha de cumplir las condiciones siguientes:

- Ha de ser un lugar ventilado, espacioso, bien iluminado, debidamente señalizado, y ha de estar condicionado para poder limpiar y desinfectar tanto el mismo almacén como los carros de traslado y los otros equipos (puntos de agua, desagües, etc.).

Esta desinfección se hará periódicamente para los que hayan contenido residuos de riesgo, y siempre con productos no tóxicos para el medio ambiente y las personas.

- Ha de estar situado de manera que no pueda afectar los espacios vecinos.
- Ha de poderse cerrar, ha de tener un acceso fácil desde el exterior, especialmente pensando en los camiones de recogida (hay evitar escalones o pendientes pronunciadas) y ha de estar protegido de la intemperie, las temperaturas elevadas y los animales.
- Ha de tener un acceso restringido a las personas autorizadas. Si este acceso restringido no puede garantizarse, los contenedores con los residuos se deberán mantener cerrados con llave. En este caso, el personal de recogida dispondrá de una llave maestra para abrir los contenedores y cargar el contenido en el camión.

Los contenedores pueden ser propiedad del centro o bien pueden alquilarse al transportista autorizado que realiza la recogida, con el mantenimiento incluido en el precio del servicio.

Los contenedores pequeños y medianos se cargan mecánicamente en el camión de recogida, con compactación o sin ella. Los contenedores grandes se transportan como caja del camión. Para evitar goteos, la estanqueidad de estos contenedores es muy importante, en especial si se trata de una caja compactadora. Se recomienda utilizar contenedores especialmente diseñados para ser estancos. Los contenedores grandes se han de acondicionar bien en una zona específica del almacén dotada de punto de agua y desagüe. Antes del transporte conviene vaciar los líquidos que se puedan haber acumulado en el fondo del contenedor.

La empresa que efectúe el transporte externo ha de estar expresamente autorizada por la Junta de Residuos. Para la entrega de residuos sanitarios del grupo III y citotóxicos se ha de utilizar una hoja de seguimiento de residuos sanitarios, que puede ser una hoja específica para cada entrega o bien una hoja itinerante, juntamente con un justificante de entrega. Estas hojas de seguimiento se han de conservar durante un período de cinco años.

4.3. RESIDUOS SANITARIOS NO ESPECÍFICOS (GRUPO II)

Este grupo de residuos se define por exclusión: cualquier residuo que haya estado en contacto con fluidos corporales u otros líquidos biológicos propios de la actividad sanitaria y que no estén incluidos en la definición de residuo sanitario específico.

Ejemplos de este grupo de residuos son: catéteres, bolsas vacías que hayan contenido sangre u otros líquidos biológicos, filtros de diálisis, tubuladuras, yesos, algodones, gasas, mascarillas, batas, guantes, talles y otros textiles de un sólo uso, y cualquier otro residuo simplemente manchado o que haya absorbido líquidos biológicos.

Para su recogida se recomienda utilizar bolsas de plástico de galga mínima 220 y, preferentemente, de color amarillo, mientras que para los residuos asimilables a municipales pueden utilizarse bolsas de galga inferior y de diferente color, o las que indique el servicio municipal de recogida de basuras. Las bolsas y los contenedores destinados a recoger los residuos sanitarios no específicos han de llevar una identificación externa del fabricante, así como una identificación externa con el rótulo "GII" dentro de los centros sanitarios.

Se recomienda que el soporte de las bolsas para los residuos sanitarios no específicos sea el adecuado para evitar un posible contacto del personal con la bolsa o el residuo (por ejemplo, soportes con pedal de abertura de la tapa), ya que estos residuos constituyen un depósito de gérmenes oportunistas, cuya diseminación hay que evitar a través de cualquier vector (por ejemplo, las manos, los antebrazos y el pecho, ya que pueden afectar personas inmunodeprimidas). En cualquier caso, se recomienda utilizar soportes de estructura simple, fáciles de limpiar y que permitan sacar la bolsa llena lateralmente, sin tener que levantarla.

Los contenedores han de adaptarse a criterios de estanqueidad total, opacidad a la vista, resistencia a la rotura, asepsia total en su exterior, ausencia total en su exterior de ele-

mentos sólidos, punzantes y cortantes, volumen no superior a 90 L y cierre especial hermético de fácil abertura y que no pueda abrirse de forma accidental.

Por lo que respecta al almacenaje intermedio, habría diversas alternativas:

- Las bolsas pueden dejarse en su soporte.
- Se puede trasladar el soporte con las bolsas directamente al almacén final.
- Se pueden almacenar las bolsas dentro de un contenedor.
- Se pueden dejar las bolsas en suelo, si es necesario, amontonadas, pero con poca altura.

En todo caso, en el Programa de Gestión de Residuos Especiales se tendría que establecer la alternativa más idónea para nuestra Universidad.

De la misma manera que los residuos asimilables a municipales, y de acuerdo con el artículo 13.2 del Decreto 27/1999 (DOGC de 16 de febrero de 1999), los residuos de este grupo no requieren ningún tipo de tratamiento especial, sino que pueden disponerse en las mismas instalaciones y con las mismas precauciones que los residuos municipales. No requieren tratamiento intracentro, aunque es optativa, pero no necesaria, la utilización de una autoclave para desinfectarlos. Sólo suponen un riesgo de infección durante su manipulación dentro del centro.

En el almacén final los residuos sanitarios no específicos se dispondrán en un contenedor con o sin compactación, pero nunca amontonados en el suelo. Si falta espacio los residuos sanitarios no específicos y los asimilables a municipales pueden almacenarse en los mismos contenedores (con la excepción de los residuos asimilables a municipales que estén separados para reciclar: papel, vidrio, etc.). Ahora bien, el conjunto pasará a ser considerado como residuo sanitario no específico.

4.4. RESIDUOS SANITARIOS ESPECÍFICOS (GRUPO III)

Según el Decreto 27/1999 (DOGC de 26 de febrero de 1999), los residuos sanitarios específicos o de riesgo se clasifican en:

a) *Residuos sanitarios infecciosos*: son aquellos residuos capaces de transmitir una de las enfermedades infecciosas que figuran en el anexo del mencionado Decreto. Por orden del “Departament de Presidència”, a propuesta de los consejeros de “Sanitat i Seguritat Social” y “d’Agricultura, Ramaderia i Pesca”, se podrán establecer, si es necesario, otras enfermedades que sean susceptibles de transmisión mediante residuos, al efecto de la clasificación de éstos en el grupo III. En el listado siguiente se especifican las enfermedades infecciosas transmisibles por agentes patógenos contenidos en los residuos del grupo III:

- fiebres hemorrágicas causadas por virus:
 - Fiebre de Congo-Crimea
 - Fiebre de Lassa
 - Marburg,
 - Ebola
 - Fiebre argentina (Junin)
 - Fiebre boliviana (Machupo)
 - Complejo encefálico transmitido por artrópodos vectores (arbovirus): Absettarow, Hanzalova, Hypr, Kumlinga, Kiasanur Forest Disease, fiebre de Omks, Russian Spring-summer encephalitis.
- brucelosis
- difteria
- cólera

- encefalopatía de Creutzfeldt-Jakob
- muermo
- tularemia
- ántrax
- peste
- rabia
- fiebre Q
- tuberculosis activa

Se trata, sin embargo, de una lista abierta que podrá ser objeto de revisión cuando se dispongan de nuevos criterios de valoración del riesgo de transmisión de las infecciones.

Además, se considera que aunque no consten en la lista actual, y ya que sí que constaban en lista anterior, se ha de trabajar con las debidas precauciones al manipular residuos contaminados con los siguientes agentes infecciosos:

- meningitis, encefalitis
- hepatitis vírica
- tifus abdominal
- lepra
- fiebre paratifoidea A, B y C
- poliomielitis
- disentería bacteriana
- VIH (SIDA)

b) *Residuos anatómicos*: cualquier resto anatómico humano, sin incluir los restos con entidad que se clasifican dentro del grupo IV.

c) *Sangre y hemoderivados en forma líquida*: recipientes que contienen sangre o hemoderivados, o otros líquidos biológicos. En ningún caso se trata de materiales manchados o que hayan absorbido estos líquidos.

d) *Agujas y material punzante y cortante*: cualquier objeto punzante o cortante utilizado en la actividad sanitaria, independientemente de su origen. Se trata fundamentalmente de agujas, pipetas, hojas de bisturí, portaobjetos, cubreobjetos, capilares y tubos de vidrio.

e) *Vacunas vivas y atenuadas*: restos de medicamentos; no se incluyen los materiales de un sólo uso manchados de medicamento.

También se han de considerar como residuos sanitarios especiales:

- *Cultivos y reservas de agentes infecciosos*: residuos de actividades de análisis o experimentación microbiológica:
 - Cultivos de agentes infecciosos y material de desecho en contacto con ellos: placas de Petri, hemocultivos, extractos líquidos, caldos, instrumental contaminado, etc.
 - Material infeccioso de referencia.

Las elevadas concentraciones de agentes infecciosos que se alcanzan en estos residuos no se encuentran en los residuos municipales.

- *Residuos infecciosos de animales*: se trata de cadáveres, partes del cuerpo y otros residuos anatómicos, literas de estabulación o otros materiales contaminados, procedentes de animales de experimentación que hayan estado inoculados con agentes infecciosos. La mayor parte de los animales de experimentación no han sido infectados y, por tanto, los residuos asociados no han de ser catalogados como residuos sanitarios especiales. Debido a la importancia de los estabularios dentro

de la comunidad universitaria, se dedica un capítulo completo a este tema (capítulo 6).

A causa de su potencial infeccioso, los residuos sanitarios especiales han de segregarse escrupulosamente de las otras categorías de residuos sanitarios. Los envases para la recogida de los RSE han de cumplir obligatoriamente estos requisitos:

- Han de ser rígidos, con las características físicas siguientes:
 - estanqueidad total;
 - opacidad a la vista;
 - resistencia a la rotura;
 - asepsia total en su exterior;
 - ausencia total en su exterior de elementos sólidos, punzantes y cortantes;
 - volumen no superior en los 60 L;
 - cierre especial hermético de apertura fácil y que no pueda abrirse de forma accidental.
- Han de estar identificados de forma bien visible con el rótulo indicativo de precaución: Residuos de riesgo.
- Han de estar reconocidos por el Departament de Sanitat i Seguritat Social de la Generalitat de Catalunya. Esto afecta a todos los modelos de envase y cada una de las capacidades existentes dentro de cada modelo.
- Han de ser compatibles con el sistema de tratamiento o disposición que los recibirá. Si el tratamiento es por desinfección en autoclave, los envases han de ser autoclavables. Si el tratamiento es por incineración, de forma prácticamente segura podrá utilizarse cualquier tipo de envase reconocido, pero habrá que dar prioridad a los que no producen emisiones tóxicas durante su combustión.

Los envases para residuos sanitarios específicos punzantes o cortantes han de cumplir las mismas especificaciones indicadas para el resto de envases para residuos sanitarios. Hay que utilizar envases rígidos, imperforables e impermeables, que reduzcan al máximo la posibilidad de accidentes durante toda la vida del residuo. La acumulación de los residuos punzantes o cortantes en el envase imperforable hay que realizarla lo antes posible. Esta es la clave para eliminar el riesgo asociado a este tipo de residuos. Si el envase imperforable no dispone de un sistema simple y seguro para separar la aguja (grupo III) de la jeringa (grupo II) sin tocar la aguja, hay que rechazar la jeringa y la aguja juntas y considerarlas como grupo III (nunca se ha de volver a poner la aguja en su funda protectora y nunca se ha de separar con la mano la aguja de la jeringa).

Si el tratamiento es por autoclave, se ha de verificar que los envases imperforables permiten la salida del aire en las fases de vacío y la entrada posterior del vapor.

Una vez en el almacén intermedio, los residuos sanitarios específicos han de permanecer en sus respectivos envases bien cerrados.

Por lo que respecta al tratamiento intracentro, estos residuos podrán eliminarse mediante diferentes métodos:

- Incineración, es decir, combustión controlada de los residuos, con tratamiento de los gases resultantes hasta cumplir la normativa vigente en materia de emisiones a la atmósfera. Puede ser incineración intracentro, es decir, en el mismo centro de trabajo, o en una instalación externa autorizada.
- Desinfección mediante autoclave de vapor.
- Otras tecnologías de desinfección, existentes o que se desarrollen en el futuro, siempre que hayan estado verificadas por el centro la eficiencia técnica, la operativa y la económica y hayan sido autorizadas por el "Departament de Medi Ambient".

La incineración es un método tradicionalmente muy empleado en los centros sanitarios. Sin embargo, hay que decir que la mayoría de las incineradoras intracentro han quedado obsoletas. Esto es debido, por un lado, a los cambios en la composición de los residuos, que han llegado a ser cada vez más heterogéneos y cada vez tienen más proporción de plásticos clorados. Por otro lado, estas instalaciones han de cumplir unos límites de emisión de gases que progresivamente se han hecho más estrictos. Esto les obliga a disponer de unas instalaciones con tecnología moderna, con un horno específico (no sirve el mismo que para los residuos municipales y los sanitarios no específicos) y un sistema de lavado de gases de alta eficiencia. Todas estas condiciones requieren una explotación y un mantenimiento especializados, con un coste muy elevado y difícilmente alcanzables por un centro sanitario o un laboratorio de investigación.

Por todo esto se recomienda, en cualquier caso, el tratamiento mediante incineración como tratamiento extracentro, realizado entonces en una instalación externa, de una empresa autorizada, correctamente diseñada y equipada y con una explotación y un mantenimiento especializados, que ofrezca todas las garantías de no contaminar el medio ambiente. En cualquier caso, las instalaciones de incineración que acepten residuos sanitarios del grupo III y citotóxicos han de regirse de acuerdo con las especificaciones del Decreto 323/1994 (DOGC de 16 de diciembre de 1994), por el que se regulan las instalaciones de incineración de residuos y los límites de sus emisiones a la atmósfera.

Por lo que respecta a la desinfección mediante autoclave, ha de cumplir las especificaciones técnicas que establece la normativa vigente. Se aconseja que se alcancen las recomendaciones siguientes:

- El nivel de desinfección ha de ser el adecuado para eliminar todas las formas vegetativas de las bacterias, las mycobacterias, los hongos y las esporas de hongos, ha de eliminar los virus y ha de eliminar las esporas del *Bacillus anthracis* (ántrax).
- Se han de utilizar autoclaves de vacío, con un mínimo de dos fases (vacío-vapor-vacío) y se ha de permitir la evacuación controlada del aire y de las aguas de condensación.
- Se recomienda la utilización de autoclaves con vapor saturado.
- Se han de utilizar envases que permitan la salida del aire y la entrada de vapor. Si llevan una capa impermeable, ésta se ha de romper en la primera fase de vacío. Sólo pueden utilizarse envases cerrados herméticamente si contienen líquidos. La cantidad de líquido ha de ser suficientemente pequeña para que cualquier volumen alcance la temperatura de desinfección durante la fase de actuación del vapor.
- En función del tipo de envase, la cámara de carga podrá llenarse más o menos. Es conveniente no sobrepasar las tres cuartas partes de su capacidad, pero en cualquier caso se han de seguir las instrucciones del fabricante.
- Por lo que respecta al control del funcionamiento, deberán medirse los parámetros siguientes en cada ciclo de desinfección:
 - Presión de vacío alcanzada en cada una de las fases.
 - Temperatura durante la fase de desinfección. Es necesario, como mínimo, realizar 10 mediciones.
 - Tiempo de comienzo y finalización de la fase de desinfección.
- Esta información se ha de registrar para cada ciclo de desinfección, juntamente con la fecha en que se ha realizado.
- Con una periodicidad trimestral se ha de realizar un test microbiológico, para comprobar que se cumplen las condiciones de desinfección en toda la masa de residuos.
- Se debe aplicar un programa de mantenimiento preventivo rutinario del autoclave.

Una vez tratados mediante esterilización por vapor caliente a presión por técnica de autoclave, estos residuos pueden gestionarse como residuos asimilables a municipales.

Por lo que respecta a los residuos anatómicos, no es aconsejable autoclavarlos, por problemas de olores. En cualquier caso, si se escoge esta opción es recomendable la utilización de una trituradora postdesinfección para eliminar cualquier problema derivado del aspecto de estos residuos.

Si están sumergidos en formol, esta solución se considera un residuo del grupo IV y no se puede autoclavar. Por tanto se deberá vaciar primeramente la solución de formol en un envase específico para su recogida. Una vez vacío, el recipiente con los restos anatómicos se han de eliminar como grupo III.

Cuando se trate de residuos sanitarios especiales líquidos se podrán eliminar por el desagüe (conectado a la red de saneamiento del centro) siempre que no contengan agentes de infecciones no endémicas en Cataluña ni cultivos líquidos de microbiología que han de tratarse o disponerse como residuos sanitarios especiales sólido. Es importante que el vertido por el desagüe sea muy cuidadoso, de forma que se eviten al máximo las salpicaduras y la formación de aerosoles. Además, si el recipiente con el líquido biológico es difícil de abrir, no se ha de intentar agujerearlo o forzarlo, sino que debe ser rechazado como residuo sanitario especial sólido.

Por lo que respecta al traslado interno de este tipo de residuos no existe ninguna especificación, excepto en el caso de que se traten en el mismo centro mediante autoclave. Entonces se recomienda que el mismo carro de recogida de los envases sea el que se introduce en el autoclave. Además, así conseguiremos que los carros de traslado se desinfecten sistemáticamente cada vez que se introducen en el autoclave y queden listos para volver a ser utilizados.

Por lo que respecta al almacenaje final sólo hay que decir que los residuos sanitarios específicos no pueden compactarse ni triturarse, ni durante almacenaje ni durante el transporte externo. Se han de almacenar en los mismos envases rígidos, que se cargarán directamente al camión de recogida y transporte externo.

4.5. RESIDUOS CITOTÓXICOS (GRUPO IV)

Los residuos citotóxicos (ver apartado 4.1.) pueden dividirse en:

- Restos de medicamentos antineoplásicos no aptos para el uso terapéutico (viales aún llenos o medicamentos caducados, jeringas con medicamento, soluciones intravenosas, etc.).
- El material punzante o cortante utilizado en la preparación o la administración de los medicamentos.
- El material sanitario de un sólo uso que haya estado en contacto con los medicamentos (tubuladuras, botellas de suero, gasas, jeringas, viales vacíos, guantes, papel sucio, etc.). Se trata de material con trazas de sustancias citotóxicas, simplemente manchados.

Los residuos citotóxicos se han de acumular en envases exclusivos separados de cualquier otro tipo de residuo generado por el centro sanitario o laboratorio. Esta acumulación se ha de realizar tan pronto como sea posible y, en el caso de los residuos citotóxicos punzantes o cortantes, se ha de realizar inmediatamente. Los contenedores serán de un sólo uso, de polietileno, poliestireno o polipropileno, de forma que permitan la incineración completa sin producir gases tóxicos, serán resistentes a los agentes químicos y a los materiales perforantes y dispondrán de un cierre hermético especial. Irán rotulados de forma bien visible con la frase: *Material contaminado químicamente. Citotóxicos*, y serán de color azul.

Como se trata de residuos muy específicos, su gestión y su tratamiento quedan muy limitados. El tratamiento más habitual y prácticamente el único disponible es la incineración externa, aunque también existen métodos de neutralización química. La incineración ha de realizarse en una instalación expresamente autorizada para recibir este tipo de residuos. Se desaconseja cualquier tratamiento mediante neutralización química, que sólo se podrá utilizar en situaciones excepcionales y si se trata de pequeñas cantidades.

Tanto si se lleva a un almacén intermedio como al almacén final, los residuos han de permanecer en sus envases y contenedores bien cerrados. Se cargarán directamente al camión de recogida y transporte externo. No pueden ni compactarse ni triturarse ni durante almacenaje ni durante el transporte externo.

4.5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES CANCERÍGENOS

Según el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, se define agente cancerígeno como cualquier sustancia o preparado clasificado como cancerígeno de 1a y 2a categoría en la normativa relativa a clasificación, envasado y etiquetado de sustancias y preparados peligrosos, y como una sustancia, un preparado o un procedimiento de los nombrados en el anexo I de este Real Decreto, así como una sustancia o un preparado que se produzca durante uno de los procedimientos nombrados en dicho anexo.

Por otro lado, la comisión de los TLV ("Threshold Limit Value") del American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), define una clasificación de las sustancias químicas a que pueden estar expuestos los trabajadores en su lugar de trabajo, en función de su carcinogenicidad y establecen diferentes categorías. Estos valores TLV se basan en la información disponible obtenida mediante la experiencia en la industria, la experimentación humana y animal y, cuando es posible, por la combinación de las tres. Son límites recomendables y no una frontera entre condiciones seguras y peligrosas y han sido establecidos exclusivamente para exposiciones laborales. Hay decir que esta clasificación no es oficial, ni en los Estados Unidos ni en Europa. A pesar de esto, es la más utilizada y ha servido como modelo para diferentes legislaciones. Las categorías de la carcinogenicidad son las siguientes:

- A1- Carcinógenos confirmados en el ser humano: el agente es un carcinógeno en los humanos de acuerdo con el peso de la evidencia de los estudios epidemiológicos o en la evidencia clínica convincente en los humanos expuestos.
- A2- Carcinógenos con sospecha de serlo en el ser humano: el agente es carcinógeno en los animales de experimentación a niveles de dosis, ruta(s) de administración, puntos de tipo histológico o por mecanismos que se consideran importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles son conflictivos o insuficientes para confirmar un aumento del riesgo de cáncer en los humanos expuestos.
- A3- Carcinógenos en los animales: el agente es carcinógeno en los animales de experimentación a dosis relativamente elevadas, ruta(s) de administración, puntos de tipo histológico o por mecanismos que se consideran importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un incremento del riesgo del cáncer en los humanos expuestos. La evidencia existente sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en los humanos expuestos, excepto por rutas o niveles de exposición no frecuentes o poco probables.
- A4- No clasificados como carcinógenos en humanos: no hay datos adecuados para clasificar el agente en relación con su carcinogenicidad en los humanos y/o los animales.
- A5- No sospechoso como cancerígeno en humanos: el agente no es sospechoso de ser carcinógeno en humanos según los estudios epidemiológicos realizados adecuadamente en estos. De estos estudios se dispone de suficientes historias fiables de

seguimiento de la exposición durante un largo período de tiempo, dosis suficientemente elevadas y de la potencia estadística adecuada para concluir que la exposición al agente no comporta un riesgo significativo de cáncer para el ser humano. La evidencia sugiriendo una ausencia de carcinogenicidad en los animales de experimentación se considerará si se apoya en otros datos relevantes.

La exposición a carcinógenos ha de ser mínima. Los trabajadores expuestos a los carcinógenos A1 sin valor TLV han de estar equipados adecuadamente para eliminar al máximo posible toda exposición. Para los carcinógenos A1 con valor TLV y para los A2 y los A3, la exposición de los trabajadores por cualquier vía de absorción ha de mantenerse cuidadosamente a niveles tan bajos como sea posible por debajo del TLV.

4.6. AGENTES BIOLÓGICOS Y NIVELES DE BIOSEGURIDAD

4.6.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES BIOLÓGICOS

El Real Decreto 664/1997 (BOE de 24 de mayo de 1997), sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo define:

- Agentes biológicos: microorganismos, con la inclusión de los genéticamente modificados, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad.
- Microorganismos, como cualquier entidad microbiológica, celular o no, capaz de reproducirse o de transferir material genético.
- Cultivo celular: el resultado del crecimiento in vitro de células obtenidas de organismos multicelulares.

Así mismo, establece la clasificación siguiente de los agentes biológicos en cuatro grupos de 1 (riesgo más bajo) a 4 (riesgo más alto) en función del riesgo de infección:

- a) Agente biológico del grupo 1: aquel que resulta poco probable que cause una enfermedad en el hombre.
- b) Agente biológico del grupo 2: aquel que puede causar una enfermedad en el hombre y puede suponer un peligro para los trabajadores; es poco probable que se propague a la colectividad y generalmente existe profilaxis o tratamiento eficaz.
- c) Agente biológico del grupo 3: aquel que puede causar una enfermedad grave en el hombre y presenta un peligro serio para los trabajadores; hay riesgo de que se propague a la colectividad y existe generalmente una profilaxis o un tratamiento eficaz.
- d) Agente biológico del grupo 4: aquel que, causando una enfermedad grave al hombre, supone un peligro serio para los trabajadores; hay muchas probabilidades de que se propague a la colectividad y generalmente no existe una profilaxis o un tratamiento eficaz.

Esta clasificación se basa en diferentes aspectos:

- El riesgo para la salud del individuo (la gravedad de la infección, la facilidad de contaminación por un germen virulento y la existencia de vacunación y tratamiento).
- Los daños a la colectividad (facilidad de contaminación interhumana, resistencia del agente a los descontaminantes y existencia de vacunación y/o tratamiento).

4.6.2. MEDIDAS DE CONTENCIÓN

De la misma manera, se han establecido unos niveles de contención y unas medidas de seguridad crecientes en función del riesgo del grupo de agentes biológicos con que se trabaja, que han de cumplir los laboratorios. Estas medidas de seguridad afectan al diseño y la construcción del mismo laboratorio (forma, situación, materiales utilizados, etc.), el equipamiento de contención, las técnicas de laboratorio específicas que han de ser empleadas, así como el tratamiento que se ha de dar a los residuos y a cualquier material susceptible de estar contaminado (ropa de trabajo, instrumental, libros, libretas, etc.). Se establecen, así, cuatro niveles de contención:

Nivel de bioseguridad 1: laboratorio básico. Se trabaja con agentes biológicos del grupo I. Presenta un escaso o nulo riesgo individual y comunitario.

Nivel de bioseguridad 2: laboratorio básico. En este caso se trabaja con agentes biológicos del grupo II, que tienen un riesgo potencial moderado para el personal y un riesgo comunitario bajo.

Nivel de bioseguridad 3: laboratorio de contención. Se trabaja con agentes biológicos de grupo III, con riesgo individual elevado y un riesgo comunitario bajo. También se aplica cuando se trabaja con grandes cantidades y concentraciones elevadas de agentes del grupo II, que es cuando existe un peligro grave de difusión de aerosoles o de infección.

Nivel de bioseguridad 4: laboratorio de contención máxima. Se trabaja con agentes biológicos del grupo IV, que pueden causar una enfermedad grave en el hombre, suponen un peligro grave para el personal que lo manipula y para la comunidad y hay muchas probabilidades que se propague a la colectividad. En este caso, han de estar supervisados por las autoridades sanitarias.

Las medidas de contención para reducir al mínimo el riesgo de infección que deberán establecer los laboratorios que emprendan trabajos que impliquen la manipulación de agentes biológicos de los grupos 2, 3 ó 4 con fines de investigación, desarrollo, enseñanza o diagnóstico se exponen en la tabla siguiente:

A Medidas de contención	B Niveles de contención		
	2	3	4
1. El lugar de trabajo se encontrará separado de toda actividad que se desarrolle en el mismo edificio.	No	Aconsejable	Sí
2. El aire introducido y extraído del lugar de trabajo se filtrará mediante la utilización de filtros de aire para partículas de elevada eficacia (HEPA) o de manera similar.	No	Sí, para la salida de aire	Sí, para la entrada y la salida de aire
3. Sólo se permitirá el acceso al personal designado.	Aconsejable	Sí	Sí, con una cámara de aire
4. El lugar de trabajo se deberá de poder precintar para permitir su desinfección.	No	Aconsejable	Sí
5. Procedimientos de desinfección especificados.	Sí	Sí	Sí
6. El lugar de trabajo se mantendrá con una presión negativa respecto a la presión atmosférica	No	Aconsejable	Sí
7. Control eficiente de vectores, por ejemplo, de roedores e insectos.	Aconsejable	Sí	Sí

A Medidas de contención	B Niveles de contención		
	2	3	4
8. Superficies impermeables al agua y de fácil limpieza.	Sí, para el banco de pruebas o la mesa de trabajo	Sí, para el banco de pruebas o la mesa de trabajo y el suelo	Sí, para el banco de pruebas o la mesa de trabajo, el suelo, las paredes y los techos
9. Superficies resistentes a ácidos, alcalinos, disolventes y desinfectantes.	Aconsejable	Sí	Sí
10. Almacenaje de seguridad para agentes biológicos.	Sí	Sí	Sí, almacenaje seguro
11. Se instalará una ventana de observación o un dispositivo alternativo en las zonas de manera que pueda verse a los ocupantes.	Aconsejable	Sí	Sí
12. Laboratorio con equipo propio.	No	Aconsejable	Sí
13. El material infectado, animales incluidos, se deberá de manejar en un armario de seguridad, en un aislador o en otra contención apropiada.	Cuando proceda	Sí, cuando la infección se propague por el aire	Sí
14. Incinerador para destrucción de animales muertos.	Aconsejable	Sí (disponible)	Sí, in situ

4.6.3. MEDIDAS HIGIÉNICAS DE PREVENCIÓN

Por lo que respecta en los residuos y al material contaminado, las medidas que se tendrán que aplicar de forma general para todos los laboratorios son las siguientes:

- No se utilizará nunca la ropa de laboratorio fuera de éste.
- Las agujas se recogerán en envases adecuados que eviten pinchazos accidentales.
- En el mismo laboratorio o en un local anexo deberá colocarse un autoclave para descontaminar el material de rechazo infeccioso.
- Así, todos los rechazos biológicos, sean líquidos o sólidos, han de ser descontaminados antes de eliminarlos y se seguirán las normas existentes sobre la gestión de residuos sanitarios.
- El material contaminado que haya de ser descontaminado en un lugar exterior al laboratorio se colocará en un contenedor especial y se cerrará antes de sacarlo del laboratorio.

Además de esto, en el laboratorio de bioseguridad 2:

- Se ha de evitar que el aire del interior del laboratorio salga al exterior y también se ha de evitar la contaminación. Las ventanas estarán cerradas.
- El autoclave deberá estar en el mismo laboratorio para descontaminar el material de rechazo y el material biológico contaminado.
- Se usarán agujas y jeringas de un sólo uso, nunca se volverán a reencapsular las agujas y se eliminarán directamente en envases rígidos, aptos para la esterilización o para la incineración.

En el nivel de bioseguridad 3, además de lo expuesto anteriormente se adoptarán las medidas siguientes:

- El aire expulsado del laboratorio ha de pasar a través de filtros de alta eficacia para partículas (filtros HEPA: High Efficiency Particulate Airborne). En ningún caso el aire puede ser reciclado hacia otra parte del edificio.
- Cualquier el material contaminado se ha de desinfectar antes de salir del laboratorio, ya sea a través del autoclave o bien por vía química. Se ha de prever la desinfección del local.
- Los libros, las libretas, los documentos, etc. que se utilicen en el laboratorio se han de desinfectar antes de sacarlos.

En el nivel de contención máxima, nivel de bioseguridad 4, se deberán adoptar las medidas siguientes además de las expuestas para los niveles inferiores:

- Los líquidos de rechazo procedentes de los desagües, de las cabinas de seguridad biológica y de los autoclaves se han de descontaminar antes de ser evacuados. Los efluentes procedentes de las duchas y los lavabos serán descontaminados antes de evacuarlos, y se hará mediante un tratamiento químico o por calor dentro del sistema de descontaminación de los residuos líquidos.
- Existirá un sistema de ventilación propio y el laboratorio se mantendrá siempre en depresión. Se utilizarán filtros HEPA, que tendrán un fácil acceso para su descontaminación y para las distintas pruebas y diferentes ensayos después de su colocación.
- No puede salir ningún material del laboratorio sin que antes haya estado esterilizado o descontaminado.
- La ropa de trabajo no puede salir nunca del vestuario del laboratorio si antes no ha sido descontaminada.
- Se deberán establecer métodos seguros que permitan la recogida, almacenaje y la evacuación de residuos por parte de los trabajadores, incluyendo la utilización de envases seguros e identificables, previo tratamiento adecuado si fuese necesario.

BIBLIOGRAFÍA

- BROCK, T.D. (1974): Enciclopedia de Medicina, Higiene y Seguridad en el Trabajo. Oficina Internacional del Trabajo, 1974.
- ESQUIUS, M., y DROBNIC, L. (1989): Evaluación de los contaminantes biológicos en ambientes laborales. Documentos técnicos 56:89. Ed. INSHT.
- FANJUL ARGUELLES, F. (1979): Fundamentals of Industrial Hygiene. National Safety Council (NSC).
- Generalitat de Catalunya (1994): Guia de Gestión Intracentro de Residuos Sanitarios. Departament de Sanitat i Seguritat Social. Direcció General de Salut Pública.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1995): Manejo de productos citostáticos. Ed. INSHT.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1997): Prevención de riesgos biológicos en el laboratorio. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Ed. INSHT.
- MARTÍ SOLÉ, M. C. y ALONSO ESPADALÉ, R. M. (1995): Tratamiento de residuos sanitarios. Notas Técnicas de Prevención 372-1995.
- OMS (1994): Manual de bioseguridad en el laboratorio. 2a ed. Ginebra, 1994.
- PARRISH, B.R. (1979): Zoonoses: animal diseases and man. Prof. Saf., 24(6), 15-17.
- PÉREZ ÍÑIGO, C. (1979): Protecting laboratory workers. Occup. Health, 31(7), 360-363.

SIMONS, J. i SOTTY, P. (1991): *Prévention en laboratoire de recherche: Risques biologiques*. CNRS.

TLVs- *Valores Límite para Sustancias Químicas y Agentes Físicos y BEIs - Índices Biológicos de Exposición para 1995-1996*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Ed. Conselleria de trabajo y asuntos sociales. Generalitat Valenciana.

5. RESIDUOS RADIATIVOS



5.1. INTRODUCCIÓN

La estructura íntima de la materia está formada por un conjunto de átomos. A su vez, cada uno de estos átomos tiene su propia configuración, con un núcleo en la parte central y una serie de electrones moviéndose a su alrededor. Finalmente hay que indicar que los núcleos están formados por una combinación de neutrones y protones. Determinadas combinaciones de neutrones y protones dan lugar a núcleos que son inestables y que en consecuencia tienden a sufrir transformaciones para pasar a una nueva configuración que resulte estable. De forma genérica, estos núcleos inestables reciben el nombre de núcleos radiactivos o radionucleidos y el material que tienen algunos de estos núcleos inestables también se suele denominar material radiactivo.

La transformación de los núcleos radiactivos viene siempre acompañada por la emisión de radiación, ya sea de naturaleza corpuscular (radiación alfa y beta) o bien de tipo electromagnético (radiación gamma). En la naturaleza ha existido siempre material radiactivo; a pesar de todo, dado que la radiación que se emite no es sensorialmente perceptible, no se fue consciente de su existencia hasta finales del siglo pasado, cuando Becquerel observó como una muestra de mineral (que tenía algunos núcleos radiactivos) velaba una película fotográfica. Posteriormente, mediante procesos radioquímicos, se procedió a “concentrar” los núcleos radiactivos procedentes de muestras naturales. Unos 30 años más tarde, mediante las llamadas reacciones nucleares, se consiguió “fabricar” nuevas combinaciones de neutrones y protones que también resultaban inestables, dando lugar a la llamada radiactividad artificial.

Dentro del ámbito de la investigación, una de las principales aplicaciones del material radiactivo es su uso como trazador, aprovechando la facilidad de detectar cantidades muy pequeñas de este material. Los productos procedentes del uso de estos trazadores están contaminados con material radiactivo y, una vez se desestima su posterior utilización se han de gestionar como residuo, teniendo además presente su naturaleza de radiactivo. En este tipo de aplicaciones, se habla de material radiactivo no encapsulado, con el que se puede tener contacto directo en el transcurso de su manipulación. Otra de las aplicaciones en el ámbito de la investigación es la utilización de las llamadas fuentes radioactivas, donde el material radiactivo suele estar en forma sólida en el interior de una vaina de material no radiactivo, que impide tanto la dispersión del material radiactivo como el hecho de que se pueda entrar en contacto directo con este material; en este caso se habla de material radiactivo encapsulado. Esta vaina es estanca al material radiactivo que hay en su interior, mientras que deja salir parte de la radiación emitida por este material. La interacción de esta radiación con la materia resulta una herramienta útil para el estudio de materiales. Cuando la fuente resulta obsoleta, pasa a ser un residuo que también ha de ser gestionado como residuo radiactivo. Los residuos procedentes de la utilización de material radiactivo no encapsulado representan tanto un riesgo de contaminación radiactiva, a consecuencia de la posible dispersión del contaminante, como de irradiación, a consecuencia de la radiación que, procedente de este material, pueda llegar al

personal. Por contra, los residuos formados por fuentes encapsuladas obsoletas, en tanto no se pierda la hermeticidad de la vaina, únicamente representan un riesgo de irradiación.

Dentro del marco de la Universidad de Barcelona, el material radiactivo se utiliza dentro de las dependencias de cinco de las instalaciones radiactivas de que dispone:

- Facultad de Biología: material no encapsulado
- Facultades de Química y de Física: material no encapsulado (Fac. Química) y encapsulado (Fac. de Física)
- Facultad de Farmacia: material no encapsulado
- Facultad de Medicina: material no encapsulado (campus Casanova)
- Campus de Bellvitge: material no encapsulado

Cada una de estas instalaciones dispone de la correspondiente infraestructura para la gestión de los residuos radiactivos que genera, estando formada por:

- Contenedores para los residuos radiactivos
- Sistemas de almacenamiento intermedio
- Almacén centralizado de residuos radiactivos

Sus características se relacionan en la memoria descriptiva de cada una de las instalaciones. Además, en el reglamento de funcionamiento de la instalación se indican tanto los criterios de clasificación de los residuos radiactivos generados como de sus vías de gestión. Dentro de este contexto el personal generador del residuo tiene la obligación de llevar a cabo la correspondiente gestión en origen, siguiendo las pautas detalladas en el apartado 5.5. En concreto, se ha de efectuar la segregación de líquidos y sólidos empleando los contenedores específicos y proceder a su etiquetado y posterior transporte al almacén general de residuos radiactivos. Por otro lado, la caracterización radiológica del residuo y la posterior determinación de la vía de evacuación es competencia exclusiva del Servicio de Protección Radiológica, que determina los casos en que se puede aplicar la correspondiente desclasificación.

5.2. CONCEPTOS BÁSICOS

En una muestra marcada con un determinado tipo de núcleos radiactivos, al número de núcleos que se transforman por unidad de tiempo se le da el nombre de actividad. Al mismo tiempo se aprecia como esta actividad es proporcional al número de núcleos radiactivos que tiene la muestra. En el Sistema Internacional la actividad se mide en número de núcleos que se transforman en un segundo, recibiendo el nombre de Becquerel (Bq). Así pues 1 Bq equivale a 1 transformación por segundo. Normalmente el Bq es una unidad excesivamente pequeña, siendo usual la utilización de sus múltiplos como son el kilobecquerel (1 kBq = 10^3 Bq), el megabecquerel (1 MBq = 10^6 Bq), el gigabecquerel (1 GBq = 10^9 Bq), ... Dentro de esta muestra, con el tiempo va reduciéndose el número de núcleos radiactivos, lo que va acompañado por una disminución de la actividad. El tiempo necesario para que la actividad de la muestra pase a ser la mitad de la inicial se denomina período de semidesintegración ($T_{1/2}$). Así pues, al pasar un período de semidesintegración la actividad pasa a ser la mitad de la inicial, al pasar dos períodos de semidesintegración la actividad es la mitad de la mitad, es decir la cuarta parte, al pasar tres períodos de semidesintegración pasa a ser la octava parte de la inicial ...

Cada uno de los diferentes tipo de núcleos radiactivos tiene un $T_{1/2}$ determinado; por ejemplo para el ^{32}P resulta $T_{1/2} = 15$ días mientras que para el ^{14}C resulta $T_{1/2} = 5730$ años.

Ya se ha indicado que cuando los núcleos radiactivos se transforman emiten radiación, ya sea en forma de partículas con mucha velocidad o bien en forma de radiación electromag-

nética, también portadora de energía. Cuando esta radiación interactúa con un medio material, deposita una parte de su energía en el medio material. Se denomina dosis a la cantidad de energía depositada por unidad de masa del medio material. En la actualidad, la dosis es la magnitud que mejor se correlaciona con los diferentes efectos biológicos que pueden comportar las radiaciones ionizantes, siendo pues la magnitud más empleada desde el punto de vista de la protección radiológica. En el sistema internacional su unidad es el J/kg y recibe el nombre de Gray (Gy). La probabilidad de sufrir un determinado efecto biológico además de depender de la dosis recibida depende también del tipo de radiación que ha causado esta dosis. Para evitar esta dependencia se introduce la magnitud dosis equivalente que es el producto de la dosis por un factor de ponderación, adimensional, que depende del tipo de radiación. En el sistema internacional esta magnitud también se mide en J/kg, recibiendo el nombre de Sievert (Sv). De esta manera, a igualdad de dosis equivalente recibida, aproximadamente resulta una misma probabilidad de sufrir un determinado efecto biológico.

Para una adecuada protección radiológica, tanto de los trabajadores de los centros productores de residuos radiactivos como de la población que se puede ver afectada por su posterior gestión, es fundamental una correcta clasificación de los residuos radiactivos en función del tipo de gestión a que posteriormente se han de someter. Los parámetros más empleados por esta clasificación son:

a) Estado físico, pudiendo ser sólidos, líquidos y gases. En el almacenaje definitivo, los residuos han de estar en forma sólida. Cuando los residuos están en forma líquida o gaseosa existe la posibilidad de autorización de vertidos controlados.

b) Composición química, debiendo garantizar su estabilidad, evitando tanto posibles reacciones químicas como acciones físicas que puedan facilitar su movilidad y dispersión. Cuando la vía de gestión sea mediante vertidos autorizados, la evaluación del impacto ambiental requiere que además de cumplir los condicionantes técnicos en los aspectos de la protección radiológica, también se cumplan los condicionantes desde el punto de vista de la protección frente a los riesgos tóxicos y biológicos.

c) Tipo de radiación emitida, determinando el tipo de apantallamiento o blindajes que se han de aplicar, tanto en los contenedores de los residuos como en su exterior.

d) Período de semidesintegración, condicionando el tiempo durante el que el residuo presenta un riesgo potencial. En este caso, los residuos marcados con radionucleidos que tienen un $T_{1/2}$ relativamente corto, cabe la posibilidad de almacenarlos durante un período de tiempo hasta que su actividad sea bastante pequeña como para no requerir el tratamiento de residuo radiactivo.

e) Actividad específica, siendo la actividad por unidad de volumen o por unidad de masa de residuo radiactivo.

f) Radiotoxicidad del radionucleido contaminante. De una forma simplificada, en el apéndice V del “Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas”, se agrupan los radionucleidos según su radiotoxicidad, diferenciando cuatro grupos: a) muy alta, b) alta, c) moderada y d) baja.

5.3. DEFINICIONES DE MATERIAL RADIATIVO Y DE DESCLASIFICACIÓN

Al tratar con residuos que pueden estar contaminados con material radiactivo, surge la necesidad de disponer de un criterio que permita saber cuándo este residuo ha de recibir consideración de radiactivo y cuándo no. Con el transcurso del tiempo se ha ido racionalizando este criterio, evolucionando desde un concepto simplista en donde se calificaban como radiactivos a todos los residuos que tuviesen trazas de radiactividad (artículo segundo de la Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear) hasta conceptos actuales más elaborados en los que se es-

tablecen unos determinados valores límite de actividad o de actividad específica, que conforman la frontera entre los residuos que se consideran radiactivos y los que no se consideran. Esta frontera se determina tanto en función de la dosis individual como la colectiva que pueda comportar el vertido del residuo considerado.

Posteriormente, en el “Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas” (Decreto 2869/1972, de 21 de julio) se indica que no tendrán consideración de instalaciones radiactivas aquellas en donde la actividad total empleada sea inferior a la indicada en el apéndice de este Reglamento o bien cuando la actividad específica sea inferior a 74 Bq/g. Estos valores, por debajo de los cuales una instalación no está sometida al control Regulador propio de las instalaciones radiactivas, constituyen los denominados niveles de exención. Estos niveles son modificados ligeramente en el apéndice V del “Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes” (Real Decreto 53/1992, de 12 de febrero), donde en el apartado 3a se indican los niveles de exención referidos a la actividad total, mientras que en el apartado 3b se indican los referidos a la actividad específica, resultante de 100 Bq/g excepto las sustancias naturales sólidas a las que se aplica un valor de 500 Bq/g. Todos estos valores dan una respuesta concreta a la pregunta de cuándo una determinada práctica se ha de someter al control Regulador, debiéndose únicamente verificar si se superan o no los niveles de exención. Además, tal como es lógico, cuando una práctica está exenta, también está exenta la gestión de los residuos que ha generado (siempre y cuando también se garantice que en el transcurso de esta gestión tampoco se superan los niveles de exención). Por contra, cuando una determinada práctica está sometida al control Regulador, este es extensivo a los residuos que genera y para que estos residuos puedan salir del control Regulador, se ha de seguir una de las dos vías siguientes:

- Mediante una autorización administrativa expresa, concedida por el Organismo Regulador, tal como prevé el artículo 56 del citado “Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes”.
- Mediante un proceso de desclasificación. Cuando los residuos tienen una actividad o una actividad específica inferior a determinados niveles de desclasificación, dejan de recibir la consideración de radiactivos y pueden pasar a gestionarse como convencionales.

Para poder desarrollar en el ámbito reglamentario el proceso de desclasificación, resulta imprescindible la revisión de la definición de residuo radiactivo que se da en la Ley 25/1964, de 29 de abril. A tal fin, en la disposición adicional quinta de la “Ley de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional” (Ley 40/1994, de 30 de diciembre) se modifica la definición de residuo radiactivo, indicando que: “residuo radiactivo es cualquier material o producto de rechazo, para el que no se tenga previsto ningún uso, que contenga o esté contaminado con radionucleidos con concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear”. Quedan pues pendientes de concretarse estos valores para poder sistematizar el proceso de desclasificación.

5.4. RIESGOS Y NORMAS DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN PARA LOS GENERADORES DE RESIDUOS

Este apartado hace fundamentalmente referencia a los manipuladores de material radiactivo no encapsulado, que dentro del ámbito de la investigación constituye el colectivo que genera más volumen de residuos radiactivos. También se hacen unas breves indicaciones para caso de los residuos procedentes de la utilización de material radiactivo encapsulado.

5.4.1. VÍAS DE RECEPCIÓN DE DOSIS

En el transcurso de las manipulaciones del material radiactivo, con inclusión de la gestión del residuo, se trata de conseguir que la dosis recibida por la población, en su conjunto, resulte tan baja como razonablemente sea posible. Fundamentalmente estas medidas inciden en la dosis que puede recibir el personal profesionalmente expuesto que trabaja en la instalación, además de la dosis que podría recibir el personal externo a la instalación a consecuencia de una mala gestión de los residuos generados. Las normas a seguir, para una adecuada prevención de riesgos, se fundamentan en el conocimiento de las diversas vías a través de las que se puede recibir dosis:

a) Por irradiación externa, pudiéndose presentar tanto con la utilización de material radiactivo de tipo encapsulado como el de tipo no encapsulado. Se trata de la dosis que se recibe a consecuencia de la radiación procedente de un material radiactivo con el que no se tiene contacto directo. Dentro de este contexto, los tipos de radiación pueden ser:

- Radiación beta. Se trata de una radiación de naturaleza corpuscular y que presenta un alcance que depende de la energía máxima con que es emitida ($E_{\beta\max}$). Para su apantallamiento se utilizan materiales de número atómico bajo para poder minimizar la producción de la radiación de frenado. A tal fin se suelen emplear placas de metacrilato. Su alcance másico (alcance lineal x densidad del material a través del que se propaga) viene dado por la siguiente expresión de tipo semiempírico:

$$\text{Alcance másico máximo (g/cm}^2\text{)} = 0.412 E_{\beta\max}^n$$

donde $E_{\beta\max}$ está en MeV. La expresión es válida dentro del dominio $0.01\text{MeV} < E_{\beta\max} < 3\text{ MeV}$. n viene dado por $n = 1.265 - 0.0954 \ln E_{\beta\max}$

Para un correcto apantallamiento de los residuos marcados con emisores beta puros (que no presentan otros tipos de radiación) hay bastante con intercalar una placa de metacrilato de grosor no inferior al citado alcance máximo. En caso que además se presente la emisión de radiación gamma, se deberá tener presente el apantallamiento necesario para este segundo tipo de radiación. Los residuos marcados con emisores beta puros, de poca energía, como son ^3H , ^{14}C , ^{35}S ,... no requieren ningún apantallamiento para hacer frente al riesgo de irradiación, ya que tanto la propia autoabsorción de la radiación en el material contaminado como el grosor de plástico de su contenedor o bolsa en donde está depositado el residuo, apantallan la totalidad de la radiación. En cambio a los residuos marcados con emisores beta puros de alta energía, como son ^{32}P , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, se les ha de aplicar un apantallamiento del orden de 1 gm/cm^2 . A tal fin se suele emplear una pantalla de metacrilato de 1 cm de grosor. Además, cuando la actividad es superior a unos 200 MBq , a continuación del metacrilato se ha de poner una lámina de plomo de 1 mm , para apantallar la débil radiación de frenado producida por las partículas β que interactúan con el metacrilato.

• Radiación gamma, tratándose de una radiación de naturaleza electromagnética. El grosor de blindaje necesario depende de:

- Número atómico del material empleado como pantalla. Al aumentar el número atómico aumenta la capacidad de apantallamiento. Es por esto que el plomo es uno de los materiales más empleados.
- Energía de los fotones, donde los de más alta energía tienen una mayor capacidad de penetración.
- El grado de atenuación que se necesita conseguir, que depende de la actividad de la fuente y de la distancia entre la fuente y la zona que se quiere proteger.

El residuo contaminado con radionucleidos emisores gamma se han de apantallar para conseguir que la tasa de dosis equivalente dentro del almacén de residuos radiactivos no supere los 2.5 $\mu\text{Sv/h}$. Además, a las dependencias anexas externas a la instalación, si el factor de ocupación es inferior a 0.5, será suficiente con garantizar que la tasa de dosis equivalente no supera los 0.5 $\mu\text{Sv/h}$. El caso más usual es el ^{125}I , que emite fotones de muy baja energía, razón por la que para su apantallamiento es suficiente con una chapa de plomo de 1 mm de grosor.

Como aplicación práctica, para los trazadores más usuales en formato no encapsulado resulta:

^3H : Emisor beta puro (no emite fotones), con $E_{\beta\text{max}} = 0.018 \text{ MeV}$. El propio contenedor actúa como pantalla de la radiación, no necesitando ninguna pantalla adicional. $T_{1/2} = 12.3$ años.

^{14}C : Emisor beta puro, con $E_{\beta\text{max}} = 0.156 \text{ MeV}$. Para el apantallamiento se aplica el mismo criterio que para el ^3H . $T_{1/2} = 5730$ años.

^{32}P : Emisor beta puro, con $E_{\beta\text{max}} = 1.71 \text{ MeV}$; donde de la expresión anteriormente indicada, resulta un alcance másico máximo de 0.79 g/cm². Así pues una pantalla de metacrilato de 1 cm de grosor es suficiente para apantallar la totalidad de las partículas beta. Además, hay que recordar que cuando la fuente tiene una actividad superior a 200 MBq, a continuación del metacrilato se ha de poner una lámina de plomo de 1 mm. $T_{1/2} = 14.3$ días.

^{33}P : Emisor beta puro, con $E_{\beta\text{max}} = 188 \text{ keV}$. Para el apantallamiento se aplica el mismo criterio que para ^3H . $T_{1/2} = 25.4$ días.

^{35}S : Emisor beta puro, con $E_{\beta\text{max}} = 0.167 \text{ MeV}$. Para el apantallamiento se aplica el mismo criterio que para ^3H . $T_{1/2} = 87$ días.

^{45}Ca : Emisor beta prácticamente puro. $E_{\beta\text{max}} = 0.26 \text{ MeV}$. (100 %). Su radiación se detiene con una pantalla de 2 mm de grosor, formada por material de bajo número atómico (normalmente el propio contenedor). $T_{1/2} = 163$ días.

^{125}I : Por captura electrónica, resulta un núcleo de ^{125}Te en estado excitado, pudiendo emitir un fotón de 35 keV. Esta radiación se apantalla con plomo, donde el grosor necesario se determina a partir de:

$$\text{Grosor (mm)} = 0.11 \log_{10} (I_0/I)$$

donde I_0/I es el cociente entre la tasa de dosis equivalente (I_0) antes de la pantalla de plomo y la tasa de dosis equivalente (I) después de la pantalla de plomo. $T_{1/2} = 60.1$ días.

b) Por contaminación externa de la persona: En este caso se ha de proceder de forma inmediata a su descontaminación, procurando que no se disperse y además, que no pase a ocasionar una contaminación interna. Para la descontaminación cutánea se utiliza agua tibia y jabón, fregando suavemente y evitando que se disperse la contaminación. Con un monitor de contaminación se controla tanto el alcance de la contaminación como los resultados obtenidos en el decurso del proceso de descontaminación.

c) Por contaminación interna: Fundamentalmente se puede recibir por una de las tres vías siguientes:

- c.1. Inhalación
- c.2. Ingesta
- c.3. Heridas

5.4.2. CRITERIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

En este apartado se exponen las medidas fundamentales de protección radiológica para hacer frente a cada una de las tres vías de recepción de dosis que ya se han indicado.

a) Frente a la irradiación externa, hay que conjugar adecuadamente los tres parámetros siguientes:

- **Tiempo:** En caso de permanecer en una dependencia donde la tasa de dosis sea constante con el tiempo, la dosis total recibida resulta proporcional al tiempo de permanencia en su interior.
- **Distancia:** En caso de no tener presente el proceso de absorción de la radiación procedente de una fuente, la tasa de dosis medida a una determinada distancia de la fuente resulta inversamente proporcional al cuadrado de esta distancia. Esta relación es cierta cuando las dimensiones de la fuente son inferiores a la distancia de la fuente a la que se mide la tasa de dosis, recibiendo la consideración de fuente puntual. Esto quiere decir que cuando incrementamos en un factor dos la distancia en la que nos encontramos de la fuente, la tasa de dosis disminuye un factor cuatro. Para el caso de la radiación gamma y en ausencia de blindaje, es una buena aproximación el no tener presente la absorción producida por el aire. En cambio, para la radiación beta y para distancias superiores a 1/10 del alcance máximo, al alejarnos de la fuente la tasa de dosis decrece más rápidamente que en función del inverso del cuadrado de la distancia, hasta no dar ninguna tasa de dosis a distancias superiores al citado alcance máximo.
- **Blindaje:** Es el material que se intercala entre la fuente emisora de radiación y la zona que se quiere proteger de esta radiación. La forma más eficaz de aplicar los blindajes es poniéndolos lo más cerca posible de la fuente de radiación. Para apantallar la radiación gamma, ya se ha indicado la influencia de los tres parámetros más significativos: número atómico del material del blindaje, energía de los fotones a apantallar y factor de atenuación requerido. Para apantallar la radiación beta, se ha de seguir la consigna de aplicar un apantallamiento con un grosor superior al alcance máximo de la radiación beta que emite la fuente.

b) Frente a la contaminación externa, es necesaria una correcta asignación y utilización del vestuario de protección, siguiendo las siguientes indicaciones:

- En la manipulación tanto de material radiactivo no encapsulado como de sus residuos generados, hay que emplear siempre guantes, bata y gafas de seguridad. En función del riesgo de contaminación, se podría requerir de mono integral, también con cobertura para la cabeza y para los pies.
- El cabello largo se ha de llevar recogido.
- Los guantes se han de quitar de manera que una vez quitado el de una mano, con ésta no se toque la cara externa del guante de la otra mano.
- Antes de salir de la zona de trabajo, con un monitor de contaminación se ha de controlar la posible contaminación del vestuario empleado.
- Con los guantes puestos está totalmente prohibido salir de la zona de manipulación de material radiactivo. Además está prohibido tocar con los guantes objetos que normalmente se manipulen sin guantes: cerraduras de las puertas, monitores de contaminación, descolgar el teléfono,... Lógicamente, con los guantes puestos tampoco se tocarán otras partes del vestuario ni del cuerpo (rascarse la cara, tocarse el cabello...).

Una contaminación personal suele indicar una inadecuada utilización del vestuario de protección o bien una mala señalización de las zonas con material potencialmente contaminado.

c) Frente a la contaminación interna, para cada una de las tres vías de incorporación de material radiactivo hay que adoptar las siguientes medidas de protección y prevención:

- Para evitar la incorporación por inhalación; cuando está presente el riesgo de contaminación del aire, ya sea por evaporación o por resuspensión de aerosoles, las manipulaciones en atmósfera abierta del material marcado se han de llevar a cabo dentro de una vitrina de gases, dotada con el correspondiente sistema de extracción y/o filtración. Este riesgo se puede presentar en el transcurso del acondicionamiento de los residuos; fundamentalmente en la fase de segregación de los líquidos y sólidos. Únicamente en el caso en que por el tamaño del residuo no sea posible emplear una vitrina, el personal afectado deberá de emplear un equipo de protección respiratoria, evitando la presencia de terceras personas.
- Para evitar la incorporación por ingestión, hay que seguir la norma de prohibir comer, beber, fumar y cualquier otro tipo de actividad que pueda facilitar la ingestión de los contaminantes. Un caso flagrante de mala práctica, sería chupar, con la boca, las pipetas u otros materiales de laboratorio.
- En caso de heridas, a consecuencia de un accidente trabajando con material radiactivo no encapsulado, hay que limpiar con agua abundante la zona afectada, procediéndose al correspondiente control de contaminación externa. En caso de tener una herida o de sufrir una enfermedad cutánea que pueda dificultar una eventual descontaminación, no se puede trabajar con material radiactivo en formato no encapsulado.

5.5. GESTIÓN EN ORIGEN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS. VÍAS DE DESCLASIFICACIÓN

Los residuos radiactivos generados con la utilización de material no encapsulado, se han de segregar en función de su estado físico, ya sea líquido o sólido. Esta segregación se lleva a cabo en origen por parte del propio generador del residuo. Los residuos líquidos provienen tanto de la solubilización de muestras biológicas y químicas, como también de los líquidos de lavado y de descontaminación. Por lo que respecta a los residuos sólidos, están formados por material de laboratorio contaminado, considerado de rechazo (viales, puntas de pipetas, guantes, papel absorbente, ...) y cadáveres de animales de laboratorio contaminados con trazadores radiactivos. Cuando se utiliza material encapsulado, los únicos residuos a gestionar son las propias fuentes, cuando resulten obsoletas, tratándose de residuos radiactivos en formato sólido.

Para una adecuada gestión de los residuos radiactivos, además de clasificarse en función de la forma física, hay que tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Forma química, teniendo presente tanto su toxicidad química, como su solubilidad a fin de evaluar la viabilidad de las prácticas de desclasificación y vertido con dilución.
- Carga biológica, para conocer los posibles riesgos biológicos.
- Radionucleido contaminante y su actividad. Es fundamental que los residuos líquidos marcados con ^3H y ^{14}C no se mezclen con el resto de residuos líquidos.

Una adecuada clasificación y segregación en origen es la base para poder implementar una correcta gestión de los residuos radiactivos que se generan en la instalación, facilitando la optimización de su gestión, a la vez que posibilita la desclasificación en los casos en que sea aplicable.

5.5.1. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS

En función del proceso de acondicionamiento que se ha de seguir, hay que diferenciar dos casos:

a) Residuos líquidos de tipo acuoso: Se efectúa una segregación en origen. Dentro del proceso de segregación, los residuos líquidos se guardan de forma que no se mezclen los residuos acuosos marcados con diferentes radionucleidos.

b) Residuos líquidos de tipo orgánico (aceites, disolventes, ...). No se pueden mezclar con los residuos de tipo acuoso.

En función de la actividad específica y de su período de semidesintegración, los residuos radiactivos se podrán retirar por vía convencional, procediendo a su desclasificación, o bien se deberán retirar a través de ENRESA, con el correspondiente tratamiento como residuo radiactivo. La decisión de la vía de gestión a seguir se adopta en función de lo que se disponga en el condicionado técnico de la autorización de la instalación radiactiva. Dentro de este contexto se suele requerir que el vertido no pueda comportar una superación de los límites de incorporación anual por ingesta para los miembros del público.

5.5.1.1. LÍQUIDOS ACUOSOS

Su vía de eliminación está fundamentalmente condicionada por la actividad específica. Es por esto que se clasifican en:

a) De baja actividad específica. Se consideran dentro de este grupo las actividades específicas que multiplicadas para consumo diario de agua de una persona (3 litros/día aproximadamente) y multiplicado por el número de días que tiene el año, dan valores de la actividad inferiores a los límites anuales de incorporación de actividad por ingesta (LIA_p), establecidos para los miembros del público. En base este criterio, se considerarán de baja actividad específica, cuando su actividad por unidad de volumen no supere el límite de actividad específica (LAE), dado por $LAE = LIA_p(Bq)/10^6(mL)$.

Ya que cada radionucleido tiene un LIA_p específico, tendrá también un LAE específico. Para los radionucleidos más habituales dentro del ámbito de la investigación con material no encapsulado, resulta:

Radionucl.	Límite Activ. Especif. (LAE)	Radionucl.	Límite Activ. Especif. (LAE)
3H	274 Bq/mL	^{33}P	18 Bq/mL
^{14}C	8.2 Bq/mL	^{35}S	18 Bq/mL
^{22}Na	1.8 Bq/mL	^{45}Ca	5.5 Bq/mL
^{32}P	1.8 Bq/mL	^{125}I	0.09 Bq/mL

Se trata de una limitación de tipo conservadora, ya que el agua de vertido no es utilizada directamente para la bebida, y a más siempre hay un importante factor de dilución.

En caso de que la actividad específica del residuo (AE) supere el valor de LAE en no más de un factor 10 ($LAE < AE < 10 \cdot LAE$), el residuo también se considera de baja actividad específica, con tal que en el transcurso del su vertido se garantice un factor de dilución superior a 100.

En todos estos casos la vía de gestión será mediante el vertido controlado a través de un vertedero emplazado dentro de la instalación. Previamente hay que determinar la actividad específica en cada uno de los contenedores una vez estén llenos. A tal fin, se ha de tomar una alícuota del contenedor y se procede a la determinación de la actividad específica del residuo. Debe documentarse tanto el proceso de determinación de la actividad como también las fechas de vertido, el volumen, el radionucleido contaminante y la actividad específica.

Además del condicionado de tipo dosimétrico, para proceder al vertido al desagüe se han de garantizar los siguientes criterios:

- El líquido vertido, marcado con material radiactivo, ha de ser soluble o bien fácilmente dispersable en el agua.
- Los residuos se han de arrastrar con una buena corriente de agua.

b) De media actividad específica. Este grupo está formado por los residuos líquidos en formato acuoso que presenten una actividad específica superior a la indicada en el párrafo anterior. El proceso a seguir, además de depender del valor de la actividad específica, está también condicionado por los periodos de semidesintegración ($T_{1/2}$) del radionucleido contaminante. A tal fin se determina el cociente entre el límite ya definido de Actividad Específica (LAE) y la actividad específica del residuo, resultando el denominado Factor de Decrecimiento (FD) de la actividad:

$$FD = LAE / \text{Activ. Espec. Actual}$$

A continuación se indica el tiempo necesario, expresado en número de periodos de semidesintegración, (N° de $T_{1/2}$) para conseguir el valor de FD:

FD	N° de $T_{1/2}$	FD	N° de $T_{1/2}$
1	0	3.0×10^{-2}	5
0.5	1	7.8×10^{-3}	7
0.25	2	9.7×10^{-4}	10
0.125	3	3.0×10^{-5}	15
0.0625	4	9.5×10^{-7}	20

$$\text{donde } FD = 2^{-(N^{\circ} \text{ de } T_{1/2})} \text{ o el que es el mismo } N^{\circ} \text{ de } T_{1/2} = -\ln(FD) / \ln 2$$

Por ejemplo, si se tiene un contenedor de 25 L con una solución acuosa marcada con ^{32}P , del que se ha tomado una alícuota de 2 mL, a la que se ha medido su actividad, resultante de 150.000 dpm. Para determinar su vía de gestión, en primer lugar se ha de comparar su actividad específica con su correspondiente LAE. La actividad específica viene dada por:

$$[150.000 \text{ dpm} \times (1\text{Bq}/60\text{dpm})]/2 \text{ mL} = 1250 \text{ Bq/mL}$$

y debido a que el LAE para el ^{32}P es de 1.8 Bq/mL, resulta un FD de 1.44×10^{-3} , resultando pues que el número de periodos de semidesintegración (N° de $T_{1/2}$) que habrá que esperar para que la actividad específica del residuo no supere el valor del LAE viene dado por N° de $T_{1/2} = -\ln(1.44 \times 10^{-3}) / \ln 2 = 9.4$. Como que para el ^{32}P el $T_{1/2} = 14.3$ días, resulta pues un tiempo de espera de prácticamente 5 meses. Durante este tiempo, se ha de tener guardado en el almacén de residuos radiactivos y para a continuación efectuar su vertido controlado, garantizando que la su actividad específica es inferior a la LAE.

Como criterio general, en caso que el tiempo de decrecimiento sea inferior a 3 años, una vez transcurrido, el residuo se podrá pues gestionar como residuo acuoso de baja actividad específica. En caso de que el tiempo requerido supere los 3 años, estos residuos se deberán gestionar a través de ENRESA, rellenando la correspondiente hoja descriptiva de residuos que se ha de enviar a ENRESA conjuntamente con la solicitud de retirada.

5.5.1.2. LÍQUIDOS ORGÁNICOS

a) Biodegradables de baja toxicidad: se han de someter al mismo tratamiento que para los acuosos, teniendo pues en cuenta tanto la actividad específica como el periodo de semidesintegración. Suele ser práctico diferenciarlos en dos grupos:

- $T_{1/2} < 100$ días. Se toma una alícuota y se determina su actividad específica, a la vez que se determina el tiempo que deberá estar en el almacén de residuos radiactivos, para que su actividad decrezca por debajo del LAE. Pasado este tiempo se procede al vertido del residuo.
 - $T_{1/2} > 100$ días. Se toma también una alícuota determinante la actividad específica y en consecuencia el tiempo de decrecimiento para que su actividad específica sea inferior al LAE. Cuando este tiempo sea superior a 3 años se gestionará a través de ENRESA, mientras que en caso contrario se aplicará el tiempo necesario de decrecimiento para a continuación proceder su vertido.
- b) Tóxicos o no biodegradables, dentro de los que se pueden diferenciar dos casos:
- Tanto si es trata de residuos con actividad específica pequeña o bien con períodos de semidesintegración bastante cortos como para garantizar que con tiempo de espera inferiores a 1 año no se supera el LAE, se almacenarán hasta garantizar que se puede aplicar la correspondiente desclasificación como radiactivo, habiéndose de pasar a gestionarlos teniendo en cuenta tanto sus posibles riesgos como residuo químico y como residuo biológico. Su almacenaje se hará en el almacén de residuos radiactivos hasta que finalice el proceso de decrecimiento y llegado este momento se podrá proceder a la desclasificación como residuo radiactivo.
 - Si por contra, se trata de residuos que para su desclasificación requirieran tiempo de decrecimiento de más de 1 año, serán gestionados a través de ENRESA, guardándose en el almacén de residuos radiactivos hasta que se proceda a su retirada.

En todas las operaciones de acondicionamiento de residuos líquidos, se han de adoptar las medidas de seguridad básicas para no contaminar la zona. En caso de que haya un derrame se procederá inmediatamente a su limpieza y descontaminación.

Mientras no se estén empleando, los contenedores a medio llenar deberán permanecer cerrados, para evitar la posible contaminación ambiental que puede comportar la volatilidad del residuo. Esta consideración es fundamental en el caso de los residuos con presencia de disolventes orgánicos.

5.5.2. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Tal como ya se ha indicado, en el artículo 56 del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 53/1992, BOE de 12 de febrero de 1992), se especifica que toda evacuación de residuos radiactivos al medio ambiente requiere de una autorización administrativa expresa y se ha de efectuar en las condiciones que se detallen en la citada autorización. Alternativamente, el vertido del residuo se podría también llevar a cabo mediante un proceso previo de desclasificación. De forma práctica, en este apartado se indica una vía de desclasificación, que el titular de la instalación ha de incluir en el Reglamento de Funcionamiento de su propia instalación y que ha de ser aprobado por el Organismo Regulador. En base a lo que prevé la Directiva 96/29/EURATOM (DOCE L de 29 de julio de 1996), hay que suponer que en el futuro no hará falta que el titular proponga niveles de desclasificación, ya que estos ya se habrán establecido por la autoridad competente. Dentro de la citada Directiva se indican valores de exención para cada radionucleido, basándose o bien en una limitación de la actividad específica o bien de la actividad global. Además, en el artículo 1, se definen los niveles de desclasificación como: “los valores establecidos por las autoridades nacionales competentes, en términos de concentraciones de actividad y/o actividad total, en los que o por debajo de los que, las sustancias radiactivas o los materiales que contienen

substancias radiactivas procedentes de cualquier práctica sometida al régimen de declaración o de autorización, pueden quedar exentos de los requisitos de la presente Directiva”.

En la tabla que sigue, para los radionucleidos más usuales en el ámbito de la investigación con material no encapsulado, se indican los valores de exención detallados en la directiva, además de los correspondientes niveles de desclasificación dados por la Agencia Internacional de la Energía Atómica (OIEA):

Radionucleido	Exención Directiva 96/29		Desclasificación (*)
	Activ. global	Activ. Específica	
^3H	10^9 Bq	10^6 Bq/g	$3 \cdot 10^3$ Bq/g
^{14}C	10^7 Bq	10^4 Bq/g	$3 \cdot 10^2$ Bq/g
^{22}Na	10^6 Bq	10 Bq/g	$3 \cdot 10^{-1}$ Bq/g
^{32}P	10^5 Bq	10^3 Bq/g	$3 \cdot 10^2$ Bq/g
^{35}S	10^8 Bq	10^5 Bq/g	$3 \cdot 10^3$ Bq/g
^{45}Ca	10^7 Bq	10^4 Bq/g	$3 \cdot 10^3$ Bq/g
^{125}I	10^6 Bq	10^3 Bq/g	$3 \cdot 10$ Bq/g

(*) En la cuarta columna se indican los niveles de desclasificación incondicional dados por la OIEA en su documento; “Recommended clearance levels for radionuclides in solid materials”, diciembre de 1993.

A la espera de valores de desclasificación dados por la legislación, es una buena práctica adoptar 1/10 de los valores dados por la OIEA, tratándose de valores para una desclasificación incondicional. A tal fin la OIEA, en su Guía de Seguridad 89 (“Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control”) impone dos restricciones de tipo dosimétrico:

- Que la dosis individual máxima originada por la práctica de la desclasificación, sea de tipo trivial, no superando los $10 \mu\text{Sv/año}$.
- Que la dosis colectiva originada por esta práctica no comporte una dosis comprometida colectiva superior a 1 Sv x persona.

Además los valores de desclasificación aplicados han de estar en armonía con los niveles de exención detallados en la legislación vigente. Dentro de este contexto, en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes, como nivel de exención se indica una actividad específica de 100 Bq/g . Así pues es necesario que los umbrales de actividad específica adoptados para la desclasificación no superen los 100 Bq/g , ya que en caso contrario a continuación de la desclasificación, por el hecho de superar el umbral de exención, deberían volverse a someter al control regulador.

En la tabla que sigue, para los residuos sólidos marcados con los radionucleidos más habituales se indica el correspondiente umbral de desclasificación, habiendo tenido presente las diversas limitaciones anteriormente expuestas.

Radionucleido	Desclasificación	Radionucleido	Desclasificación (*)
^3H	100 Bq/g	^{35}S	100 Bq/g
^{14}C	30 Bq/g	^{45}Ca	100 Bq/g
^{22}Na	0.03 Bq/g	^{125}I	3 Bq/g
^{32}P	30 Bq/g		

Al igual que para los residuos líquidos, el tiempo de decrecimiento para los residuos radiactivos sólidos es determina a partir de la actividad específica inicial y del período de semi-

desintegración del radionucleido contaminante. En función del tiempo necesario para que la actividad específica sea inferior a los valores de desclasificación, se pueden diferenciar dos supuestos:

a) Cuando el tiempo de espera sea inferior a 3 años: se procede al almacenamiento del residuo, hasta que la actividad sea inferior al nivel de desclasificación. Durante este almacenamiento, los residuos se guardan dentro de las correspondientes bolsas, donde cada una de ellas ha de disponer de una etiqueta indicando: a) radionucleido contaminante, b) actividad específica y fecha a que está referida, c) fecha en que está prevista su gestión como residuo convencional y d) identificación del generador del residuo. Cuando se pueda desclasificar, se sacará del almacén de residuos radiactivos y se verificará que: a) la tasa de cuentas brutas medida en contacto, con un monitor de contaminación adecuado, no supera el doble de la tasa de cuentas debidas a fuentes natural y b) no haya ninguna indicación haciendo referencia a su anterior condición de material radiactivo.

b) Cuando el tiempo de espera sea superior a 3 años: donde el residuo se deberá acondicionar según los criterios de aceptación de ENRESA, enviándoles tanto la hoja descriptiva del residuo como la correspondiente solicitud de retirada. Este grupo está fundamentalmente formado por residuos marcados con radionucleido de período de semidesintegración largo (^3H , ^{14}C , ...) y con actividades específicas superiores a los niveles de desclasificación.

Los residuos biológicos y especialmente los cadáveres de animales, marcados con material radiactivo, dado su carácter putrescible, constituyen un caso particular, debiéndose guardar en el interior de un congelador.

5.5.3. CRITERIOS GENERALES DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

Además de los criterios específicos detallados en el apartado anterior, hay que tener presente los siguientes criterios de tipo general:

- Se trabajará de forma que se minimice la cantidad de residuos generados. Esta minimización comienza ya en la fase de diseño del experimento.
- Cuando sea posible, se procederá a la descontaminación de los residuos sólidos. Dado que la práctica totalidad de material de plástico es descontaminable, los residuos sólidos radiactivos estarán fundamentalmente formados por cadáveres de animales marcados y también por algunos sólidos absorbentes impregnados con líquido radiactivo.
- El generador del residuo ha de proceder su acondicionamiento. Esta tarea no se puede posponer, pues además de ir en detrimento del orden y limpieza de la instalación, el posponer su acondicionamiento podría dificultar el proceso tanto de segregación como de descontaminación.
- Los residuos líquidos procedentes del proceso de segregación de los viales, se han de depositar en el contenedor correspondiente, teniendo presente tanto el tipo de radionucleido contaminante como la naturaleza del líquido (acuoso o orgánico).
- Los contenedores que se hayan empleado para almacenar residuos radiactivos, en caso que una vez descontaminados se puedan gestionar como residuo convencional, serán troceados para inutilizarlos, al mismo tiempo que se les retirará cualquier señal que haga referencia a su anterior condición de contenedor para material radiactivo.
- Los radionucleidos que hayan de retirarse a través de ENRESA, deberán ser caracterizados, indicando cuales son los radionucleidos contaminantes, la actividad específica y el tipo de residuo. La actividad se determinará preferentemente de forma experimental o en su defecto mediante una estimación. En cualquiera de los dos casos se documentará el proceso seguido para su determinación. Por lo que

respecta al tipo de residuo, se seguirá el criterio de clasificación adoptado por ENRESA:

Tipo	Naturaleza	Tratamiento
S01	Sólido compactable	Supercompactación
S02	Sólido no compactable	Inmovilización
S03	Cadáveres de animales	Incineración
S04	Agujas hipodérmicas*	Inmovilización
M01	Residuos mixtos**	Incineración
L01	Líquidos orgánicos	Incineración
L02	Líquidos acuosos	Fabricación de mortero ***
F01	Fuentes encapsuladas $v < 20$ L	Inmovilización
F02	Fuentes encapsuladas $v > 20$ L	Inmovilización

* Se han de entregar en contenedores rígidos suministrados por ENRESA.

** Compuestos por viales de plástico con líquidos orgánicos en su interior; no se puede tratar de líquidos acuosos.

*** El mortero de inmovilización se inyecta en el interior de los bidones.

Todos estos datos técnicos se han de indicar en la hoja descriptiva de los residuos, que es un impreso normalizado de ENRESA y que se ha de enviar junto con la solicitud de retirada del residuo radiactivo.

En líneas generales, los residuos que ha de retirar ENRESA han de seguir los siguientes criterios de aceptación:

a) Generalidades:

- Se han de separar los residuos de manera eficiente y total, de acuerdo con la tipificación establecida por ENRESA; no se aceptarán aquellos que no estén debidamente segregados.
- No se pueden mezclar los residuos radiactivos con sustancias inactivas.
- Se procurará que la producción de residuos radiactivos sea mínima, mejorando en lo que sea posible los métodos de operación, descontaminación, limpieza, etc.
- Cuando los residuos presenten algún riesgo adicional al radiactivo, se reseñará claramente en las hojas de solicitud de retirada en el apartado observaciones. Por ejemplo, en las agujas hipodérmicas (S04) se indicará el posible riesgo infeccioso.
- Se han de separar adecuadamente los residuos que contengan radionucleidos de vida corta (período de semidesintegración inferior a 30 días) de aquellos de vida más larga.
- A cada unidad de contención que se entregue a ENRESA se han de identificar siempre los radionucleidos presentes y la estimación de su actividad.
- No se admiten objetos rígidos (sólidos, metálicos, contenedores de fuentes, etc) de longitud superior a 60 cm. En caso contrario se ha de indicar claramente en la hoja descriptiva, a fin de que ENRESA pueda planificar la retirada de forma particularizada.
- La tasa de dosis equivalente en la superficie de cualquier unidad no puede ser superior a 2 mSv/h.
- El nivel de contaminación superficial en la superficie externa de cualquiera unidad de contención a entregar a ENRESA no pueden superar los $0,37 \text{ Bq/cm}^2$, si se trata de un emisor alfa, y $3,7 \text{ Bq/cm}^2$ si se trata de un emisor beta o gamma.

Las dos últimas condiciones vienen impuestas por la reglamentación para el transporte de mercancías peligrosas por carretera (ADR).

a) Residuos radiactivos sólidos: Están formados por los residuos que se encuentren en estado físico sólido y que no estén encapsulados. Estos residuos sólidos y sus unidades de contención han de cumplir las siguientes condiciones:

- Han de estar introducidos en bolsas transparentes de resistencia aceptable (galga 500), o cualquier otro sistema de contención que impida la dispersión del material radiactivo y permita individualizar un volumen determinado de estos residuos.
- El volumen de los residuos incluidos en cada bolsa o unidad de contención no superará los 25 L. En circunstancias en las que sea necesario retirar residuos de gran volumen, habrá que planificar la operación con antelación para prever las medidas oportunas. Se recomienda el uso de las bolsas de tipo normalizado que suministra ENRESA.
- Los diferentes tipos de residuos se han de entregar en bolsas o unidades de contención distintas.
- Los materiales que puedan rasgar las bolsas de plástico han de ser entregados en unidades de contención rígidas. Para las agujas hipodérmicas se recomiendan las cajas normalizadas que suministra ENRESA. En caso de objetos cortantes de dimensiones mayores se han de utilizar embalajes rígidos adquiridos por el productor.
- Las bolsas o cualquier otro recipiente que contenga residuos radiactivos deberán entregarse herméticamente cerrados con cinta adherente o cualquier otro método, de forma que se garantice la imposibilidad de dispersión de los residuos durante la manipulación de las unidades de contención.
- Cada bolsa o unidad de contención ha de estar perfectamente identificada, comenzando por el número 1, siendo esta numeración independiente del residuo de que se trate. En el momento de la retirada, ENRESA procederá a substituir esta identificación por la del sistema mecanizado.
- Los cadáveres de animales o cualquier otro residuo radiactivo de tipo biológico (heces, muestras de sangre, etc), deberán entregarse congeladas en bolsas transparentes aparte del resto de material radiactivo. En la solicitud de retirada se han de indicar las dimensiones del residuo, ya que al transportarse congelado es prácticamente un sólido rígido.

b) Residuos radiactivos líquidos:

- Los residuos radiactivos líquidos de tipo orgánico no se pueden mezclar con los de tipo acuoso.
- Se ha de evitar la mezcla de los radionucleidos de vida corta con los de vida larga.
- Se han de entregar en unidades de contención que ENRESA pone a disposición de la instalación. En el momento de la recogida, ENRESA repondrá estas unidades por otras vacías.
- La entrega de orina o cualquier otro producto biológico líquido resultante de la utilización de radionucleidos se estudiará individualmente.

c) Residuos mixtos. Como residuo mixto sólo se considera los viales procedentes del recuento mediante líquido de centelleo. Las condiciones que han de cumplir estos residuos son:

- Se han de entregar a ENRESA en los contenedores suministrados por ENRESA, debidamente separados de cualquier otro tipo de residuo radiactivo diferente al definido como mixto.

- En las unidades de contención no se introducirán viales vacíos ni viales con contenido diferente al del líquido de centelleo.
- En la hoja descriptiva se ha de indicar el contenido radiactivo y la actividad estimada de cada una de las unidades de contención.

d) Fuentes encapsuladas. Están formadas por las fuentes selladas, donde la sustancia radiactiva sólida está incorporada dentro de una vaina sólida inactiva, que presenta una resistencia suficiente para evitar, en las condiciones normales de uso, cualquier dispersión de sustancias radiactivas. Para la entrega de las fuentes a ENRESA se han de cumplir las siguientes condiciones:

- La actividad máxima de aceptación está sometida a unas limitaciones:
 - a) cada tipo de radionucleido deberá cumplir lo indicado en el ADR para embalajes de tipo A.
 - b) en el caso de actividades superiores, ha de realizarse una consulta individualizada para proceder a su aceptación.
- Las fuentes se han de entregar dentro de sus contenedores de origen, cabezales, etc., o en su contenedor de transporte. En caso de que no se disponga de estos contenedores, se ha de preparar un contenedor físico y radiológicamente idóneo para la fuente a retirar, que será revisado e inspeccionado previamente a la retirada por parte de ENRESA y ha de estar libre de sobreembalajes que impidan esta inspección.
- Si el peso del embalaje es superior a 100 kg, se ha de indicar claramente en la hoja descriptiva, de manera que se pueda planificar los medios adecuados para la retirada.
- Las dimensiones de los contenedores en donde se alberguen las fuentes encapsuladas no serán superiores a 60 cm. En caso contrario se deberá especificar claramente sus dimensiones a fin de que ENRESA lo tenga presente al planificar la retirada.
- Junto con la hoja descriptiva, se ha de aportar toda la documentación disponible que avale los datos que se detallan:
 - Radionucleido
 - Actividad
 - Fecha de medición de la actividad
 - Índice de dosis equivalente en contacto y a 1m.
 - Referencias identificativas impresas en los contenedores y/o fuentes.
 - Planos y dimensiones de los contenedores, así como los documentos de su homologación para albergar las fuentes encapsuladas.

5.6. GESTIÓN EN ESPAÑA DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS DE MEDIA Y BAJA ACTIVIDAD

Los pequeños productores únicamente generan residuos de baja y media actividad. Además, su aportación resulta pequeña respecto al volumen total de residuos radiactivos que se gestionan en todo el país, ya que representan del orden del 3% del volumen total que recibe la instalación de El Cabril y, mediante el acondicionamiento final, pasan a representar el 1,2% del volumen total a almacenar.

El acondicionamiento supone la incorporación del residuo en una matriz sólida y estable y su envasado en contenedores que permiten un manejo apropiado del residuo. Este acondicionamiento se realiza mediante matrices de hormigón, asfalto o polímeros en bidones o con-

tenedores metálicos o de hormigón, en el caso de residuos radiactivos de baja y media actividad.

Una vez acondicionados, los residuos son transferidos a las unidades de almacenamiento, donde caben 28 bidones de 220 L. Una vez llenas se cubren con una tapa de hormigón, inyectándose mortero de manera que se convierta en un bloque compacto. Posteriormente, estas unidades se colocan en las celdas de almacenamiento. En cada una de estas celdas caben 320 unidades de almacenamiento con un peso de 24.000 kg por unidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Ilustre Colegio Oficial de Físicos (1984): Tratamiento y gestión de residuos radiactivos. Ed. Ilustre Colegio Oficial de Físicos.
- Sociedad Nuclear Española, Sociedad Española de Protección Radiológica (1994): Generación y gestión de residuos de baja radiactividad. Ed. Sociedad Nuclear Española y Sociedad Española de Protección Radiológica.
- ORTEGA ARAMBURU, X., i JORBA BISBAL, J., ed (1996): Radiaciones ionizantes. Utilización y riesgos II. Institut de Tècniques Energètiques. Edicions UPC.

6. RESIDUOS PROCEDENTES DE ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN. ESTABULARIOS



6.1. INTRODUCCIÓN

Se considera animal de experimentación cualquier ser vivo vertebrado no humano utilizado o destinado a ser utilizado en experimentación. Se excluyen las formas fetales o embrionarias.

En los laboratorios de experimentación se utilizan diferentes especies de animales; las más comunes son: ratas de laboratorio, ratones, conejos, ranas, peces, perdices, tortugas, palomas y cerdos. También pueden utilizarse monas, gatos y perros. Cada especie presenta una serie de características que la hacen más adecuada que las otras para determinados experimentos.

Un animal que se tenga que utilizar para la experimentación ha de presentar una serie de garantías: debemos conocer tanto el estado de salud sanitario (un animal con síntomas de alguna enfermedad podría dar resultados falsos en el experimento), como su origen (nunca han de aceptarse animales que no provengan de un suministrador que nos ofrezca suficientes garantías). Un ejemplo importante del estado sanitario de los animales de laboratorio es el caso de los monos: como que son los animales más parecidos al hombre, pueden traspasarnos multitud de enfermedades, incluso algunas mortales. Por esto es necesario que estos animales estén completamente sanos antes de trabajar con ellos, ya no sólo para que el estudio sea correcto, sino también por nuestra propia seguridad.

6.2. GESTIÓN DE RESIDUOS

Los residuos procedentes de animales de experimentación, como cadáveres, partes del cuerpo y otros residuos anatómicos, camas de animalario o cualquier otro material contaminado, deberán de ser eliminados, si se puede, en la misma instalación por medio de un sistema de incineración. Si esto no es posible, la eliminación se realizará mediante servicios externos. En este caso los cadáveres y los restos de animales se almacenarán en un congelador a -20°C de temperatura. En cualquier caso se deberán de tener en cuenta y se deberán de cumplir estrictamente las medidas de seguridad expuestas en el apartado 6.4.1 de este capítulo en el caso de animales de experimentación a los que se haya inoculado agentes biológicos listados en el Real Decreto 664/1997 (BOE de 24 de mayo de 1997) o los que sean portadores.

Se debe tener en cuenta que muchos animales de experimentación no han sido infectados y, por tanto, los residuos asociados no han de ser catalogados como residuos especiales. Este es el caso de los animales de experimentación empleados en los laboratorios de psicología o para pruebas farmacológicas, tests de alergias, etc.

Los residuos no orgánicos pueden ser eliminados por el servicio de recogida de basuras normal, siempre que no sean susceptibles de estar contaminados por agentes biológicos. En este último caso deberán de cumplirse las medidas de seguridad expuestas en el apartado 6.4.1 de este capítulo.

Los residuos punzantes, los tubos, los restos de medicamentos o cualquier otro residuo sanitario deberán gestionarse de acuerdo con lo expuesto en el capítulo 4 sobre gestión de residuos sanitarios.

La periodicidad de la limpieza del material depende del material en sí mismo. Así, se recomienda que las cubetas y los lechos se limpien de 2 a 3 veces por semana; las rejas y los separadores, una vez por semana; los biberones y los tapones se limpiarán cada vez que se llenen; las bandejas recolectoras de excrementos, cada 1-3 días; las estanterías o racks, quincenalmente y fuera de la sala de animales; los boxes de perros, gatos y primates, diariamente; etc.

6.3. RIESGO BIOLÓGICO EN LOS LABORATORIOS CON ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN

El riesgo biológico se deriva del contacto con los animales de laboratorio o bien con sus productos, y se puede concretar en unos daños para la salud de tipo infeccioso, tóxico o alérgico.

Las vías de entrada al organismo pueden ser:

- *Respiratoria*: por la inhalación de aerosoles que pueden contener polvo, descamaciones, materia fecal, partículas vegetales, esporas, etc.
- *Digestiva*: por ingestión. Normalmente es debida a la aspiración oral con pipeta, pero también se puede producir al fumar, beber o comer en el laboratorio, por una higiene personal defectuosa, etc.
- *Dérmica o cutaneomucosa*: por contacto a través de pequeñas heridas o pinchazos. También por picaduras de artrópodos que se han infectado previamente picando animales infectados.
- *Conjuntiva*: por proyección de aerosoles sobre la mucosa ocular, mediante aparatos ópticos contaminados o por la proyección de gotas de medios de cultivo infecciosos sobre los ojos.

Las fuentes de contaminación proceden de tareas que se realizan con agentes infecciosos conocidos, con animales infectados y con fluidos biológicos.

Debemos tener presente, como fuente importante de riesgo biológico, tanto las enfermedades transmitidas del animal al hombre (zoonosis), como las que el hombre puede transmitir al animal (antropozoonosis).

6.4. MEDIDAS PREVENTIVAS

Como recomendaciones generales, todos los trabajadores, incluido el personal auxiliar que trabaje con animales, han de ser informados de los riesgos inherentes al trabajo que realizan y recibir formación sistemática en materia de técnicas, instrumentación, métodos de trabajo y equipos de protección individual (EPI) que eviten la posibilidad de contraer una enfermedad y la dispersión del contaminante en el laboratorio de experimentación animal, con el consiguiente peligro para la comunidad. Desde el punto de vista estructural, los servicios relacionados con las instalaciones de los animales de experimentación, como los almacenes de lechos, de alimentos para los animales o de jaulas, así como los vestuarios y los lavabos del personal, excepto si el nivel de seguridad requerido indica lo contrario, han de encontrarse fuera de la unidad animal pero cerca de ella.

6.4.1. NIVELES DE BIOSEGURIDAD

De forma análoga a la que se ha expuesto en el capítulo 4 sobre gestión de residuos sanitarios, los laboratorios que utilizan animales de experimentación pueden clasificarse según los tipos de agentes biológicos con los que trabajan, es decir, teniendo en cuenta el tipo de microorganismo con que trabajan o del que pueda ser portador el animal (Real Decreto 664/1997, BOE de 24 de mayo de 1997). Así, encontramos 4 niveles de bioseguridad con medidas específicas. A causa de la temática de este manual sólo se exponen las que hacen referencia a gestión de residuos, desinfección y descontaminación.

Nivel de seguridad 1 (medidas básicas)

- Los techos, las paredes y los suelos han de ser de materiales resistentes y han de ofrecer un recubrimiento estanco fácil de limpiar y de desinfectar. El suelo, concretamente, ha de ser uniforme, impermeable, debe tener una superficie que no resbale, y ha de poder soportar sin peligro el peso y el desplazamiento de las jaulas y de cualquier equipo móvil. Los sifones del suelo, si los hay, han de ser descontaminados regularmente.
- Se han de tomar medidas de seguridad para evitar huidas de animales al exterior. Si se escapa de las jaulas cualquier animal de laboratorio se deberá de sacrificar una vez capturado y se incinerará (o se gestionará exteriormente para su incineración).
- Deberán darse consignas precisas al personal para que se tomen todas las precauciones necesarias para minimizar la generación de aerosoles.
- Las jaulas, las cajas, las estanterías y las instalaciones en general han de construirse con materiales apropiados y deben estar concebidas de forma que no presenten ningún riesgo para el animal y puedan desinfectarse fácilmente.
- Los cadáveres y los restos de los animales han de eliminarse rápidamente. Mientras tanto, se guardaran en un frigorífico dentro de un embalaje estanco, descuartizado si se trata de un animal grande. En el caso de marcaje radiactivo, las condiciones de eliminación son las definidas en la reglamentación sobre residuos radioactivos y han de respetarse rigurosamente. Si el marcaje ha sido realizado con isótopos de vida corta (p. ej. ^{32}P) los cadáveres y los restos de los animales se almacenarán con las medidas de seguridad adecuadas hasta que decaiga la actividad radiactiva hasta niveles seguros. Si el marcaje ha sido realizado con isótopos de vida larga (p. ej. ^{14}C) los cadáveres y los restos de los animales se gestionarán como residuos radiactivos mediante ENRESA.

Nivel de seguridad 2

Además de las medidas básicas de seguridad expuestas para el nivel 1, deberán cumplirse las medidas siguientes:

- Toda manipulación susceptible de generar un aerosol infeccioso deberá efectuarse dentro de una cabina de seguridad biológica del tipo I o II o con protección personal facial (mascarilla, gafas).
- Las jaulas de los animales han de ser desinfectadas preferentemente mediante el sistema de autoclave. Si esto no es posible, la desinfección se realizará mediante una solución descontaminante eficaz (hipoclorito sódico, por ejemplo). Las superficies de trabajo han de descontaminarse rápidamente después de cada experimento.
- Los residuos de la unidad de animales se descontaminarán (en el autoclave o en una cabina de fumigación) antes de ser eliminados por las vías convencionales. Los animales muertos se evacuarán del animalario en bolsas de plástico dobles, selladas y estancas o en contenedores herméticos y posteriormente se incinerarán.

Nivel de seguridad 3

Además de las medidas básicas de seguridad expuestas para los niveles 1 y 2, deberán cumplirse las medidas siguientes:

- El autoclave para la desinfección se situará en el interior de la unidad de animales. Cuando se trate de animales grandes, se necesitará un dispositivo de fumigación o un baño con desinfectante, con la posibilidad de acceso por el interior y el exterior de la unidad.
- El sistema de ventilación ha de evacuar el aire al exterior del edificio en una zona donde no haya ningún riesgo de reciclaje. Si no es posible, el aire extraído deberá filtrarse mediante un filtro de alta eficacia HEPA. La entrada de aire ha de ser de tal forma que en la unidad la corriente circule del exterior de la zona hacia el interior, y el vestíbulo ha de quedar en depresión intermedia.
- Si se utiliza un circuito de vacío, deberá estar protegido por filtros HEPA y las trampas de agua han de contener un desinfectante apropiado.
- Las jaulas ocupadas por los animales infectados han de estar situadas en recintos de seguridad adaptados. Si es posible, las jaulas serán descontaminadas en el autoclave antes del cambio de lechos y antes de la limpieza.
- El aire filtrado proveniente de estos recintos deberá ser expulsado dentro del circuito de extracción principal del laboratorio o directamente al exterior, si es que no existe riesgo de reciclaje.
- El vestuario de trabajo ha de ser completo y deberá ser descontaminado antes de llevarlo a limpiar.
- Los animales muertos han de ser colocados en una doble bolsa estanca dentro de la unidad; el exterior de la bolsa se descontaminará por fumigación o sumergiéndolo en un baño descontaminante. Después se han de incinerar.

Nivel de seguridad 4

Además de las medidas básicas de seguridad expuestas para los niveles 1, 2 y 3, se deberán cumplir las medidas siguientes:

- Es indispensable disponer de un autoclave con doble puerta.
- Las conducciones eléctricas, el sistema de iluminación, las bocas y los conductos de aspiración deberán ser concebidos de forma que la deposición de polvo sea la mínima posible. Los circuitos de ventilación han de ser totalmente estancos.
- El sistema de ventilación ha de ser autónomo, ha de mantener una depresión controlada, siempre circulando de la zona menos contaminada hacia las zonas de mayor contaminación. El aire extraído se filtrará a través de filtros HEPA y deberá ser expulsado al exterior.
- El aire expulsado de las cabinas de seguridad microbiológica, si se filtra a través de filtros HEPA, se podrá expulsar al exterior por el conducto de evacuación general. Si no es así, se ha de hacer pasar a través de los filtros principales de tratamiento de aire antes de expulsarse al exterior. Se han de tomar precauciones durante el cambio de los filtros: hay que descontaminarlos previamente y se ha de utilizar ropa de protección.
- La descontaminación por calor o con una solución descontaminante de eficacia comprobada es obligatoria para todos los efluentes líquidos (lavabos, duchas, sifón del WC y condensaciones del autoclave).
- Los animales infectados han de ser mantenidos en las cabinas de confinamiento de clase III, dentro de salas en depresión o dentro de los dispositivos de confinamiento parcial, ventilados por una corriente de aire ascendente filtrado a través de filtros HEPA.

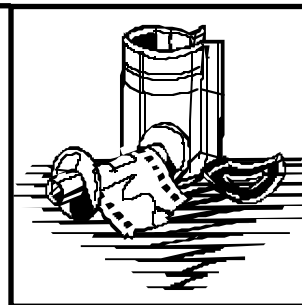
En la tabla siguiente se exponen de forma resumida las medidas principales de seguridad biológica:

Medidas particulares siguiendo los niveles de seguridad biológica (NSB)			
	NSB 2	NSB 3	NSB 4
Equipos para el personal	Bata cerrada por la espalda, guantes y gafas	Mono, mascarilla quirúrgica	Compartimento con ducha; mono cerrado o mascarilla
Limpieza del material	Sistema de autoclave recomendado antes de limpiar	Sistema de autoclave obligatorio antes de mover los lechos Material de un solo uso	
Control de accesos	Personal informado cuya presencia sea necesaria	Exclusión de personas de riesgo	Normas estrictas Plan emergencia en caso accidente
Materiales	Jeringas con recordo de un solo uso	Cánulas en lugar de jeringas	
Residuos	Sistema de autoclave (recomendado) Incineración de cadáveres	Sistema de autoclave (obligatorio) Incineración Transporte en bolsa estanca	Autoclave con doble entrada
Equipos especiales		Cabina de flujo laminar vertical Jaulas con tapa filtrante	Cabina estanca con guantes, ventilada y filtrada
<p>Las puertas de la unidad de animales han de tener cerradura automática.</p> <p>Prohibición de beber, fumar en la unidad de animales y de introducir productos de uso humano.</p> <p>Higiene elemental: lavado de manos antes de abandonar la unidad de animales.</p> <p>Luchar contra los insectos y los roedores.</p> <p>Minimizar la formación de polvo y aerosoles.</p>			

BIBLIOGRAFÍA

- GENERALITAT DE CATALUNYA (1994): Guia de gestió intracentre de residus sanitaris. Departament de Sanitat i Seguretat Social. Direcció General de Salut Pública.
- INSHT (1997): Prevención de riesgos biológicos en el laboratorio. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- MARTÍ SOLÉ, M. C. i ALONSO ESPADALÉ, R. M. (1995): Tratamiento de residuos sanitarios. NTP 372-1995.
- OMS (1994): Manual de bioseguridad en el laboratorio. 2a ed. Ginebra, 1994.
- PARRISH, B.R. (1979): Zoonoses: animal diseases and man. Prof. Saf., 24(6), 15-17.
- SIMONS, J. i SOTTY, P. (1991): Prévention en laboratoire de recherche. Risques biologiques. CNRS-INRA-INSERM, París, 1991.

7. LABORATORIOS FOTOGRÁFICOS



7.1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los procesos fotográficos se utilizan una serie de productos químicos muy diversos y se generan también residuos químicos muy específicos, en función del proceso que utilizamos.

El material fotográfico se compone de dos partes diferenciadas: la superficie sensible y el soporte:

- La superficie sensible es una dispersión de cristales de halogenuro de plata sobre gelatina. Estos cristales se activan selectivamente con la exposición a la luz. Para potenciar esta propiedad se utilizan sensibilizadores: la tiourea, el tiosulfato sódico, el tiocianato de oro, el tetracloroaurato potásico y reductores como el hidrógeno, el tert-butilaminoborano, los cationes de estaño II o la hidrazina. Otros componentes de la emulsión que constituye la superficie sensible son: los tensioactivos (tetraazaidenos, mercaptotetrazoles), aldehídos y estabilizantes (iones haluro, benzimidazoles, benzotriazoles y mercaptotetrazoles).
- El soporte fotográfico puede ser, mayoritariamente, película transparente de vidrio, plástico, papel o cartón. La película está constituida por diferentes compuestos químicos, como por ejemplo agente antihalo, partículas de carbón, colorantes o plata coloidal, etc., que han de ser eliminados durante el proceso.

7.2. EL PROCESO FOTOGRÁFICO

La secuencia de tratamiento depende del tipo de soporte a tratar (blanco y negro o color), del procedimiento (negativo-positivo o invertido) y de la naturaleza de los trabajos a efectuar (diapositiva, negativo, tiraje sobre papel, etc.). Las operaciones que tienen lugar y los productos que se utilizan son los siguientes:

1. Revelado (baños de revelado): se transforma la imagen latente en imagen visible. Hay diferentes procedimientos de revelado:

- Fotografía en blanco y negro
Baño revelador en blanco y negro, baño de parada, lavado, fijación y lavado.
- Fotografía en color
Sal de plata expuesta + revelador cromógeno — revelador oxidado + plata metálica.
Revelador oxidado + acoplador — colorante (imagen pigmentada).

Se distinguen dos procedimientos:

- Negativo-positivo: revelador cromógeno, blanqueo, fijación.
- Por inversión: revelado en blanco y negro, inversión química o por exposición, revelado cromógeno, blanqueo, fijación.

Como componentes del baño de revelado se utilizan diferentes productos químicos:

- Reductores: son las sustancias que propiamente revelan la imagen latente. En la fotografía en blanco y negro el más utilizado es la hidroquinona y en la fotografía en color, una amina aromática. Los más utilizados son:

Tabla 1. Reductores más utilizados

NOMBRE QUÍMICO	TIPO DE REVELADOR
Sulfato de 4- <i>N,N</i> -dietil- <i>p</i> -fenilendiamina	color
Monohidrocloreto de 4- <i>N,N</i> -dietil-2-metil- <i>p</i> -fenilendiamina	color
Sesquisulfato monohidratado de 4-(<i>N</i> -etil- <i>N</i> -2-metansulfonamidoetil)-2-metil- <i>p</i> -fenilendiamina	color
Sulfato de 4-(<i>N</i> -etil- <i>N</i> -2-hidroxietil)-2-metil- <i>p</i> -fenilendiamina	color
Di- <i>p</i> -toluensulfato de 4-(<i>N</i> -etil- <i>N</i> -2-metoxietil)-2-metil- <i>p</i> -fenilendiamina	color
Sulfato de 4-amino- <i>N</i> -dietilanilina	B/N, color
(4-Metilaminofenol) ₂ · H ₂ SO ₄	B/N
Hidroquinona	B/N
Dihidrocloreto de <i>p</i> -fenilendiamina	B/N

- Conservantes o preservadores: se utilizan sulfitos alcalinos, glicerina, formaldehído y los ácidos tartárico, cítrico y acético en pequeñas dosis.
- Aceleradores: aumentan la velocidad del proceso de revelado y son principalmente: óxido de potasio, óxido de sodio, carbonato de calcio, Na₃PO₄, acetona, formaldehído y acetaldehído.
- Moderadores (antiveladores): bromuro de potasio, benzotriazol.

Además, también se pueden añadir, en pequeñas dosis, otros productos, como por ejemplo anticlórreos (hexametáfosfato de sodio) o germicidas (pentaclorofenol, pentaclorofenolato).

2. Baño de parada: su función es detener la reacción reveladora. Se utiliza normalmente el ácido acético, con sulfito sódico como conservante.

3. Baño de fijación: para fijar la imagen se ha de eliminar el haluro de plata que no ha sido revelado, convirtiéndolo en un complejo soluble en agua. Esto se consigue con una disolución de tiosulfato sódico o amónico, o con una disolución de cianuros. También contienen reguladores del pH (ácido acético, ácido bórico, amoníaco, etc.), endurecedores (compuestos de aluminio) y conservadores (sulfito sódico). En los procesos de fotografía en blanco y negro la fijación se realiza en condiciones ácidas.

4. Lavado y secado: permite la eliminación de sales simples o complejos solubles, las sustancias tampón y los iones halogenuros mediante el aclarado con agua.

5. Baños adicionales.

- Baño de desensibilización previa: se añaden pequeñas cantidades de ciertos colorantes (azafraninas, hexanitrodifenilamina, ácido pícrico, crisoidina, etc.) que hacen que el material pierda la sensibilidad sin que desaparezca la imagen latente.
- Baño de curtido (tannage) o endurecedor: para endurecer la gelatina del negativo antes de someterlo a otros procesos de refuerzo o debilitamiento de la imagen. Los productos utilizados son principalmente aldehídos (formaldehído, glutaraldehído, succinaldehído) y los sulfatos dobles hidratados de potasio y cromo o aluminio (alumbre de cromo y aluminio, respectivamente).
- Baño de blanqueo: se ha de emplear un blanqueador, en los procesos en color, para quitar la plata metálica indeseable de la emulsión de la imagen definitiva. Se utilizan agentes oxidantes, como el ferrocianuro, el dicromato potásico o el persulfato amónico, que oxidan la plata metálica a catión plata.
- Baño de refuerzo: para aumentar el contraste en negativos débiles efectuando un nuevo tratamiento cromógeno después del blanqueo. Se utilizan compuestos como por ejemplo el cloruro mercúrico, el dicromato potásico e incluso la hidroquinona.
- Baño de debilitamiento o ablandamiento: actúa eliminando el exceso de plata. Los debilitadores más utilizados son: ferricianuro potásico con hiposulfito sódico, dicromato potásico en medio de ácido sulfúrico, permanganato potásico en medio ácido sulfúrico, persulfato amónico, 1,2,3-benzotriazol.
- Baño de viraje o coloración: para modificar el color de las pruebas positivas. Se realiza por sulfuración (acción del sulfuro de sodio) o por tratamiento con sales de oro o de platino (el cloruro de oro o el hexacloroplatinato de potasio).

6. Trabajos de acabado: se utilizan disolventes como el 1,1,1-tricloroetano y el 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano, para eliminar huellas digitales, polvo y otras impurezas.

La protección de las fotografías se lleva a cabo con barnices también montando las fotografías entre hojas de resina sintética.

7.3. RIESGOS DEBIDOS A LA EXPOSICIÓN A LOS PRODUCTOS QUÍMICOS EMPLEADOS

Durante el proceso fotográfico se utilizan una gran cantidad de sustancias y productos químicos que suponen un riesgo para el personal expuesto. La forma de exposición puede ser tanto por vía inhalatoria como por vía dérmica, aunque también puede darse por vía digestiva y parenteral.

Vía dérmica

Las lesiones dérmicas más comunes causadas por los agentes químicos empleados durante el revelado fotográfico son las dermatitis por contacto, tanto las de tipo irritativo como las

de tipo alérgico. Los principales causantes de este tipo de lesiones son los líquidos reveladores de color. Estas lesiones aparecen también en zonas no expuestas indicando que se producen no sólo por contacto directo sino también mediante diseminación sistémica después de la inhalación, absorción por la piel o ingestión accidental.

Entre los reveladores de blanco y negro raramente se han descrito casos aunque algunos de ellos también tienen poder sensibilizante.

Vía inhalatoria

La inhalación de contaminantes químicos puede producir efectos irreversibles en las personas expuestas a los mismos. Para minimizar los riesgos se han de controlar las concentraciones ambientales de estos productos.

7.4. MEDIDAS PREVENTIVAS

Pueden adoptarse diferentes medidas para la prevención de los riesgos por exposición a productos químicos, pero en este apartado sólo se tratan los que hacen referencia a la eliminación de los productos peligrosos o a su sustitución por otros menos perjudiciales para la salud. Capítulo 2.

Eliminación

Esta eliminación puede realizarse a dos niveles: limitando su presencia a la estrictamente necesaria en un lugar de trabajo específico; o eliminando del propio proceso aquellos tratamientos que sean innecesarios. Este último es el caso del baño fijador en las fotografías que no han de ser archivadas o del baño de estabilización que puede sustituirse por un aclarado con agua.

Substitución

Se pueden substituir los productos basados en disolventes orgánicos (productos de limpieza, de retoque, etc) por otros con base acuosa. Los disolventes clorados pueden substituirse por otros no clorados.

Los productos reveladores, fijadores, los que forman los diferentes baños, etc, pueden ser substituidos por otros menos peligrosos. Así encontramos que la sal sódica puede substituir al sulfato amónico como fijador; el cloruro de aluminio de los baños de curtido o endurecedores puede substituirse por sulfato de amonio; el ácido cítrico puede substituir el ácido acético en los baños de parada, etc.

7.5. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS ESPECÍFICOS DE LABORATORIOS FOTOGRÁFICOS

En los laboratorios fotográficos, dado que se utiliza una gran cantidad de sustancias diferentes, es especialmente crítico tener establecido el tratamiento que se ha de dar a cada residuo, desde su generación hasta su eliminación. Una vez identificados los residuos peligrosos es muy importante observar los procedimientos de trabajo, los hábitos y el uso de equipos de protección individuales (EPI) por parte de las personas que pueden estar expuestas en cada lugar de trabajo.

Los efluentes fotográficos requieren un tratamiento especial; por este motivo los laboratorios fotográficos han de incluir una zona donde se traten las soluciones sobrantes y el agua utilizada, antes de su eliminación.

Los procedimientos generales de actuación delante de algunas de las sustancias y de algunos de los compuestos que se pueden utilizar en un laboratorio fotográfico los podemos encontrar en el capítulo 3.

La seguridad en el manejo y en la eliminación de productos químicos peligrosos es un requisito esencial para trabajar con estas sustancias y por esto es mejor no proceder si no se está familiarizado con los peligros potenciales y la química de los materiales que han de ser destruidos y los reactivos a utilizar.

ESTAS TÉCNICAS DE NEUTRALIZACIÓN O DE DESTRUCCIÓN SÓLO SE PUEDEN APLICAR A CANTIDADES PEQUEÑAS DE PRODUCTO, POR PERSONAL COMPETENTE Y CON EL MATERIAL NECESARIO.

DADO QUE ALGUNOS DE ESTOS PRODUCTOS SÓN MUY REACTIVOS O MUY TÓXICOS, LA EJECUCIÓN DE ESTAS TÉCNICAS EN MALAS CONDICIONES O POR PERSONAL SIN EXPERIENCIA PUEDE SER EXTREMADAMENTE PELIGROSA.

Estos procedimientos son los siguientes:

- Sales inorgánicas (ferrocianuro potásico, alumbres...): añadir un exceso de Na_2CO_3 y agua. Dejar en reposo durante 24 h. Neutralizar con HCl de concentración 6 mol L^{-1} y verterlo al desagüe.
- Oxidantes (dicromato potásico, permanganato potásico, persulfato potásico...): tratar con un gran volumen de disolución concentrada de un reductor (hiposulfito, bisulfito o sal ferrosa). Neutralizar y verterlo al desagüe. Ver capítulo 3, apartado 3.5.43.
- Reductores (dióxido de azufre, tiosulfato sódico, sulfito sódico, bisulfito sódico...): añadir Na_2CO_3 y agua (hasta la suspensión). Dejar en reposo 2 h. Neutralizar y verterlo al desagüe.
- Cianuros (ácido cianhídrico...): tratar con una disolución alcalina de $(\text{ClO})_2\text{Ca}$. Dejar en reposo 24 horas y verterlo al desagüe. Las actuaciones deficientes en el tratamiento de residuos de baños que contienen cianuros son responsables de intoxicaciones por cianuro de hidrógeno, al eliminar estos baños sobre cubetas o contenedores sucios con ácidos. Ver capítulo 3, apartado 3.5.17.
- Alkalís cáusticos (amoníaco...): neutralizar con HCl y verterlo al desagüe. Ver capítulo 3, apartado 3.5.2.
- Ácidos inorgánicos (ácido sulfúrico...): adicionar gradualmente a un gran volumen de disolución de carbonato sódico y cal apagada con agitación. Añadir a la disolución neutralizada un exceso de agua corriente. Ver capítulo 3, apartado 3.5.1.
- Aminas alifáticas (etilendiamina, hircodilamina...): pueden ser tratadas con NaHCO_3 (serie de una polvorización con agua y una neutralización) y vertidas al desagüe; o bien pueden ser gestionadas
- Aminas aromáticas (p-fenilendiamina...): absorberlas sobre arena y Na_2CO_3 . Almacenar y tratarlas mediante un gestor externo que posteriormente las incinerará. Ver capítulo 3, apartado 3.5.12.
- Ácido pícrico (explosivo)...: Ver capítulo 3, apartado 3.5.39.
- Aldehídos (glutaraldehído, acetaldehído, formaldehído...): absorberlo en vermiculita o mezclarlo con un disolvente inflamable. Almacenar para su posterior incineración mediante un gestor externo. Ver capítulo 3, apartado 3.5.22.
- Hidrocarburos, alcoholes, cetonas, ésteres (hidroquinona, cetona, cresol, glicerina, naftil, etilenglicol, metanol, dietilenglicol...): mezclarlos con un disolvente inflamable. Incinerarlos. Ver capítulo 3, apartado 3.5.3.
- Ácidos orgánicos (ácido acético...): neutralizarlo y verterlo al desagüe o almacenarlo para su posterior incineración mediante un gestor externo. Ver capítulo 3, apartado 3.5.1.

- Compuestos orgánicos halogenados y relacionados (pentaclorofenol, percloroetileno, diclorometano...): verterlo sobre vermiculita o mezclarlo con un disolvente inflamable. Almacenar para su posterior incineración mediante un gestor externo. Ver capítulo 3, apartado 3.5.4.
- Mercaptanos y sulfuros orgánicos (2-mercaptobenzotiazol...): disolverlos en alcohol residual o en otro disolvente inflamable. Almacenar para su posterior incineración mediante un gestor externo. Ver capítulo 3, apartado 3.5.19.
- Compuestos de mercurio (cloruro de mercurio...): disolverlos y convertirlos en nitratos solubles. Precipitarlos como sulfuros. Almacenar el precipitado para su eliminación como residuo sólido.
- Plata: usualmente enlazada a complejos tiosulfato, puede ser convertida en sulfuro de plata y ser eliminada como sedimento sólido.

BIBLIOGRAFÍA

- ADÁN LIÉBANA, M^ªE. Y SÁNCHEZ ALMIRÓN, M^ªD. (1996): Laboratorios fotográficos: riesgos por exposición a contaminantes químicos (I). NTP 425-1996.
- ADÁN LIÉBANA, M^ªE. Y SÁNCHEZ ALMIRÓN, M^ªD. (1996): Laboratorios fotográficos: riesgos por exposición a contaminantes químicos (II). NTP 426-1996.
- FRIEDLANDER, B.R.; HEARNE, B.J. Y NEWMAN, B.J. (1982): Mortality, cancer incidence and sickness absence in photographic processors: an epidemiologic study. *Journal of Occupational Medicine*, vol 24, nº 8, August 1982.
- KIPEN, H.M. Y LERMAN, Y. (1986): Respiratory abnormalities among photographic developers: a report of three cases. *American Journal of Industrial Medicine*, 9: 341-347.
- KULCSAR NETO, F. Y DALLE OLLE, R.: Riesgos químicos en laboratórios fotográficos. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*. Vol 14, nº 54.
- LIDEN, C. (1984): Occupational dermatoses at a film laboratory. *Contact dermatitis* 1984;10 (77-87).
- LIDEN, C. (1989): Occupational dermatoses at a film laboratory. Follow-up after modernization. *Contact dermatitis* 1989;20:191-200.
- MAHIEU, J.C. (1988): Les laboratoires de photographie. INRS CD77.
- ROED-PETERSEN, J. Y MENNE, T. (1976): Allergic contact dermatitis and lichen planus from black-and-white photographic developing. *Revista Cutis*, vol 18, nov. 1976.
- SEEDORFF, L. (1992): Productos químicos de revelado. *JANUS*, nº 11, marzo 1992.

8. LEGISLACIÓN

8.1. LEGISLACIÓN GENERAL EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

Legislación internacional

- Convenio OIT, núm. 148, de 20 de junio de 1977, relativo a la protección de los trabajadores contra los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo. Ratificado por Instrumento de 24 de noviembre de 1980. BOE de 30 de diciembre de 1981. España ha aceptado únicamente las obligaciones relacionadas con la contaminación del aire y del ruido.
- Convenio OIT, núm. 155, de 22 de junio de 1981. Seguridad y salud de los trabajadores y del medio ambiente de trabajo. Ratificado por Instrumento de 26 de julio de 1985 -BOE de 11 de noviembre de 1985.

Legislación europea

Comunidad Europea, Acta única europea. Artículo 21: el Tratado CEE será completado con las disposiciones siguientes:

- Artículo 118 A: los estados miembros procurarán promover la mejora del medio de trabajo, para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores.
- Directiva 83/477/CEE, de 19 de septiembre, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo (segunda directiva particular de acuerdo con el artículo 8 de la Directiva 80/1107/CEE). DOCE L de 24 de septiembre de 1983.
Modificada por:
Directiva 91/382/CEE, de 25 de junio. DOCE L de 29 de julio de 1991.
- Directiva 88/364/CEE, de 9 de junio, relativa a la protección de los trabajadores mediante la prohibición de determinados agentes específicos y/o determinadas actividades (cuarta directiva de acuerdo con el artículo 8 de la Directiva 80/1107/CEE). DOCE L de 9 de julio de 1988.
- Directiva Marco 89/391/CEE, de 12 de junio, para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo. DOCE L de 29 de junio de 1989.
- Directiva 89/654/CEE, de 30 de noviembre, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en los lugares de trabajo. DOCE L de 30 de diciembre de 1989.
- Directiva 91/383/1991, de 25 de junio, sobre medidas que tienden a promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de los trabajadores con una

relación laboral de duración determinada o empresas de trabajo temporal. DOCE L de 29 de julio de 1991.

Legislación española

- Decreto de 26 de julio de 1957. Fija los trabajos prohibidos a mujeres y menores por peligrosos y insalubres. BOE de 26 de agosto de 1957. Rectificaciones en el BOE de 5 de septiembre de 1995.
Modificado por:
Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Deroga los aspectos relativos al trabajo de las mujeres. BOE de 10 de noviembre de 1995.
- Orden de 21 de noviembre de 1959. Reglamento de los servicios médicos de empresa. BOE de 27 de noviembre de 1959.
- Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre. Reglamento de industrias molestas, insalubres, nocivas y peligrosas. BOE de 7 de diciembre. Rectificaciones en el BOE de 30 de diciembre de 1961 y en el de 7 de marzo de 1962.
Completado por:
Orden de 15 de marzo de 1963. BOE de 2 de abril de 1963.
Orden de 21 de marzo de 1964. BOE de 28 de marzo de 1964.
Modificado por:
Decreto 3494/1964, de 5 de mayo. BOE de 6 de noviembre de 1964.
- Orden de 9 de marzo de 1971. Ordenanza general de seguridad y higiene en el trabajo. BOE de 16 y 17 de marzo de 1971. Rectificaciones en el BOE de 6 de abril de 1971.
Derogados algunos capítulos por:
Real Decreto 486/1997, de 14 de abril. BOE de 23 de abril de 1997.
Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo. BOE de 24 de mayo de 1997.
Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo. BOE de 24 de mayo de 1997.
- Constitución, de 27 de diciembre de 1978. Título I, capítulo III, artículo 40.2. BOE de 29 de diciembre de 1978.
- Ley 8/1980, de marzo. Estatuto de los trabajadores. BOE de 14 de marzo de 1980.
- Real Decreto 233/1988, de 14 de marzo. Protección de los animales utilizados para experimentos y otras finalidades científicas. BOE de 18 de marzo de 1988.
Desarrollado por:
Orden de 3 de octubre de 1989. BOE de 18 de octubre de 1989.
- Instrumento de 2 de agosto de 1989. Ratificación del Convenio europeo sobre protección de los animales vertebrados utilizados con finalidades experimentales y otras finalidades científicas, hecho en Estrasburgo, el 18 de marzo de 1990. BOE de 25 de octubre de 1990.
- Real Decreto 88/1990, de 26 de enero, sobre protección de los trabajadores mediante la prohibición de determinados agentes específicos y/o determinadas actividades. BOE de 27 de enero de 1988.
- Real Decreto 822/1993, de 28 de mayo. Establece los principios de buenas prácticas de laboratorio y su aplicación en la realización de estudios no clínicos sobre sustancias y productos químicos. BOE de 29 de mayo de 1993.
- Real Decreto 2224/1993, de 17 de diciembre. Normas sanitarias de eliminación y transformación de animales muertos y desechos de origen animal y protección frente a agentes patógenos en piensos de origen animal. BOE de 19 de enero de 1994.
- Real Decreto legislativo 1/1994, de 20 de junio. Texto refundido de la Ley general de la Seguridad Social. BOE de 29 de junio de 1994.
Modificado por:
Ley 42/1994, de 30 de diciembre. BOE de 31 de diciembre de 1994.

Ley 13/1996, de 30 de diciembre. BOE de 31 de diciembre de 1996.

Real Decreto ley 8/1997, de 16 de mayo. BOE de 17 de mayo de 1997.

Ley 42/1997, de 14 de noviembre. BOE de 15 de noviembre de 1997.

- Real Decreto 2043/1994, de 14 de octubre. Inspección y verificación de las buenas prácticas de laboratorio. BOE de 24 de noviembre de 1994.
- Real Decreto ley 1/1995, de 24 de marzo. Texto refundido de la Ley del Estatuto de los trabajadores. BOE 29 de marzo de 1995.

Modificado por:

Ley 31/1995, de 8 de noviembre. BOE de 10 de noviembre de 1995.

Ley 13/1996, de 30 de diciembre. BOE de 31 de diciembre de 1996.

Real Decreto ley 8/1997, de 16 de mayo. BOE de 17 de mayo de 1997.

- Ley 31/95, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales. BOE de 10 de noviembre de 1995.

Aplicada por:

Instrucción de 26 de febrero de 1996. BOE de 8 de marzo de 1996.

- Ley orgánica 10/1995, de 23 de noviembre. Código penal. BOE de 24 de noviembre de 1995. Rectificaciones en el BOE de 2 de marzo de 1996.
- Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre. Reglamento de la infraestructura para la calidad y la seguridad industriales. BOE de 6 de febrero de 1996. Rectificaciones en el BOE de 6 de marzo de 1996.

Modificado por:

Real Decreto 411/1997, de 21 de marzo. BOE de 26 de abril de 1997.

- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. Reglamento de los servicios de prevención. BOE de 31 de enero de 1997.

Legislación catalana

- Decreto 46/1996, de 6 de febrero. Distribución de la potestad sancionadora entre los órganos de la Generalitat de Catalunya por infracciones en las materias laborales, de prevención de riesgos laborales y por obstrucción a la actividad inspectora. DOGC de 21 de febrero de 1996.

Completado por:

Decreto 142/1996, de 30 de abril. DOGC de 6 de mayo de 1996.

- Resolución de 23 de septiembre de 1996. Ordena la inscripción y la publicación del Pacto de ámbito de Catalunya del Acuerdo básico en materia de seguridad y salud en el trabajo a Catalunya, período del 15 de julio de 1996 al 31 de diciembre del 2000. DOGC de 11 de noviembre de 1996.

8.2. LEGISLACIÓN ESPECÍFICA

8.2.1. SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD AL TRABAJO

- Directiva 92/58/CEE, de 24 de junio, sobre las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. DOCE L de 26 de agosto de 1992.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Plazo para adecuarse hasta al 13 de mayo de 1998. BOE núm. 97, de 23 de abril de 1997.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE de 23 de abril de 1997.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación de cargas que impliquen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores. BOE de 23 de abril de 1997.

8.2.2. PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN

- Directiva 90/270/CEE, de 29 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. DOCE L de 21 de junio de 1990. Rectificaciones al DOCE L de 4 de julio de 1990.
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. BOE de 23 de abril de 1997.

8.2.3. UTILIZACIÓN DE EQUIPOS DE TRABAJO

- Directiva 89/655/CEE, de 30 de noviembre, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de los equipos de trabajo. DOCE L de 30 de diciembre de 1989.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el cual se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. BOE de 7 de agosto de 1997.

8.2.4. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)

- Directiva 89/656/CEE, de 30 de noviembre, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de los equipos de protección individual. DOCE L de 30 de diciembre de 1989.
- Directiva 89/686/CEE, de 21 de diciembre, sobre aproximación de las legislaciones de los estados miembros relativas en los equipos de protección individual. DOCE L de 30 de diciembre de 1989.

Modificada por:

Directiva 93/68/CEE, de 22 de julio. DOCE L de 30 de agosto de 1993.

Directiva 93/95/CEE, de 29 de octubre. DOCE L de 9 de noviembre de 1993.

Directiva 96/58/CE, de 3 de septiembre. DOCE L de 18 de septiembre de 1996.

- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. Deroga todas las disposiciones de rango igual o inferior que se opongan a lo que se dispone en este Real Decreto. BOE de 12 de junio de 1997.

8.2.5. ENFERMEDADES PROFESIONALES

- Orden de 12 de enero de 1963. Normas reglamentarias médicas para reconocimientos, diagnosis y calificación de las enfermedades profesionales. BOE de 13 de marzo de 1963.

Completada por:

Orden de 15 de marzo de 1965. BOE de 17 de enero de 1966.

- Real Decreto 1995/1978, de 27 de noviembre. Cuadro de enfermedades profesionales. BOE de 25 de agosto de 1978.

Modificado por:

Real Decreto 2821/1981, de 27 de noviembre. BOE de 1 de diciembre de 1981.

- Orden de 9 de noviembre de 1981. Lista de enfermedades de declaración obligatoria. DOGC de 25 de noviembre de 1981.

Modificada por:

Orden de 29 de enero de 1982. DOGC de 5 de marzo de 1982.

Orden de 16 de diciembre de 1987. DOGC de 23 de diciembre de 1987.

Orden de 1 de julio de 1992. DOGC de 15 de julio de 1992.

8.2.6. INCENDIOS

- Orden de 29 de noviembre de 1984. Manual de autoprotección para el desarrollo del Plan de emergencia contra incendios y de evacuación en locales y edificios. BOE de 26 de febrero de 1985. Rectificaciones en el BOE de 14 de junio de 1985.
- Real Decreto 1942/1993, de 5 de diciembre. Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. BOE de 14 de diciembre de 1993.
- Real Decreto 400/1996, de 1 de marzo. Disposiciones de aplicación de la Directiva 94-9-CE relativa a los aparatos y a los sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas. BOE de 8 de abril de 1996.
- Real Decreto 2177/1996, de 4 de octubre. Norma básica de la edificación NBP-CPI/96: Condiciones de protección contra incendios de los edificios. BOE de 29 de octubre de 1996.

8.2.7. APARATOS, MÁQUINAS Y INSTALACIONES

- Directiva 87/404/CEE, de 25 de junio, relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre recipientes simples a presión. DOCE L de 8 de agosto de 1987.
Modificada por:
 Directiva 90/488/CEE, de 17 de septiembre. DOCE L de 2 de octubre de 1990.
 Directiva 93/68/CEE, de 22 de julio. DOCE L de 30 de agosto de 1993.
- Decreto 2443/1969, de 16 de agosto. Reglamento de recipientes a presión. BOE de 28 de octubre de 1969.
- Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril. Reglamento de aparatos a presión. BOE de 29 de mayo de 1979. Rectificaciones en el BOE de 28 de junio de 1979.
Modificado por:
 Real Decreto 507/1982, de 15 de enero. BOE de 12 de marzo.
 Real Decreto 473/1988, de 30 de marzo. BOE de 20 de mayo.
 Real Decreto 1504/1990, de 23 de noviembre. BOE de 28 de noviembre de 1990. Rectificaciones en el BOE de 24 de enero de 1991.
 Completado mediante Instrucciones técnicas complementarias MIE-AP. Hasta ahora han aparecido 17.
- Real Decreto 1495/1991, de 11 de octubre. Dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 87/404/CEE, sobre recipientes a presión simples. BOE de 15 de octubre de 1991. Rectificaciones en el BOE de 25 de octubre de 1991.
Modificado por:
 Real Decreto 2486/1994, de 23 de diciembre. BOE de 24 de enero de 1995.
- Orden de 25 de mayo de 1983. Aplicación de la ITC MIE-AP5 sobre extintores. DOGC de 8 de junio de 1983.
- Ley 13/1987, de 9 de julio. Seguridad de las instalaciones industriales. DOGC de 27 de julio de 1987.
- Orden de 27 de marzo de 1990. Regula la aplicación del reglamento de aparatos a presión en las instalaciones realizadas en Cataluña. DOGC de 27 de abril de 1990.

8.2.8. ELECTRICIDAD

- Decreto 2413/1973, de 20 de septiembre. Reglamento electrotécnico de baja tensión. BOE de 9 de octubre de 1973.
Modificado por:

Real Decreto 2295/1985, de 9 de octubre. BOE de 12 de diciembre de 1985.

Completado por:

Orden de 31 de octubre de 1973. Instrucciones técnicas complementarias MI-BT, con modificaciones posteriores. BOE de 27, 29 y 31 de diciembre de 1973.

- Orden de 14 de mayo de 1987. Aplicación del reglamento electrónico de baja tensión. DOGC de 12 de junio de 1987.

Modificada por:

Orden de 30 de julio de 1987. DOGC de 12 de agosto de 1987.

- Resolución de 17 de noviembre de 1992. Instrucción interpretativa de la MI-BT 010 del Reglamento electrotécnico de baja tensión referente a la previsión de cargas eléctricas en los edificios. DOGC de 8 de enero de 1993.

8.2.9. ACTIVIDADES MOLESTAS, INSALUBRES, NOCIVAS Y PELIGROSAS

- Orden de 20 de septiembre de 1978. Publicación del Real Decreto 2155/1978, que transfiere competencias en materia de Interior, Turismo, Actividades molestas y Transportes. DOGC de 2 de octubre de 1978.
- Decreto de 6 de diciembre de 1978. Organización en materia de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas. DOGC de 16 de diciembre de 1978.

8.3. LEGISLACIÓN GENERAL SOBRE SEGURIDAD CON AGENTES QUÍMICOS, FÍSICOS Y BIOLÓGICOS (SUBSTANCIAS Y PREPARADOS PELIGROSOS)

Legislación europea

- Directiva 67/548/CEE, de 27 de junio, relativa a la aproximación de las legislaciones en materia de clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. DOCE L de 16 de agosto de 1967, y normativa de desarrollo y modificación.
- Directiva 76/769/CEE, de 27 de julio, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los estados miembros que limiten la comercialización y el uso de determinadas sustancias y de determinados preparados peligrosos. DOCE L de 27 de septiembre de 1976, y normativa de desarrollo y modificación.
- Directiva 88/379/CEE, de 7 de junio, sobre aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los estados miembros relativas a la clasificación, el envasado y el etiquetado de sustancias peligrosas. DOCE L de 16 de julio de 1988. Rectificaciones al DOCE L de 10 de agosto de 1988.
Adaptada por:
Directiva 89/178/CEE, de 22 de febrero. DOCE L de 8 de marzo de 1989.
Directiva 90/492/CEE, de 5 de septiembre. DOCE L de 5 de octubre de 1990.
Directiva 93/18/CEE, de 5 de abril. DOCE L de 29 de abril de 1993.
Directiva 96/65/CE, de 11 de octubre. DOCE L de 18 de octubre de 1996.
- Directiva 91/155/CEE, de 5 de marzo, por la que se definen y se fijan, en aplicación del artículo 10 de la Directiva 88/379/CEE, las modalidades del sistema de información específica relativo a los preparados peligrosos. DOCE L de 22 de marzo de 1991.

modificada por:

Directiva 93/112/CEE, de 10 de diciembre. DOCE L de 16 de diciembre de 1993.

- Directiva 91/157/CEE, de 18 de marzo, relativa a las pilas y los acumuladores que contengan determinadas sustancias peligrosas. DOCE L de 26 de marzo de 1991.
- Directiva 92/59/CEE, de 29 de junio, relativa a la seguridad general de los productos. DOCE L de 11 de agosto de 1992.
- Directiva 96/56/CE, de 3 de septiembre, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de sustancias peligrosas. DOCE L de 18 de septiembre de 1996.

Legislación española

- Real Decreto 668/1980, de 8 de febrero. Reglamento de almacenamiento de productos químicos. BOE de 14 de abril de 1980.

Modificado por:

Real Decreto 3485/1983, de 14 diciembre. BOE de 20 de febrero de 1983.

Completado por las Instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ. Actualmente existen las dedicadas a los líquidos inflamables y combustibles, óxido de etileno, cloro, amoníaco anhidro, botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión y líquidos corrosivos.

- Real Decreto 74/1992, de 31 de enero. Reglamento nacional del transporte de mercancías peligrosas por carretera (TCP). BOE de 22 de febrero de 1992.

Modificado por:

Orden de 7 de febrero de 1996. BOE de 20 de febrero de 1996.

- Real Decreto 1566/1999, de 8 de octubre, sobre los consejeros de seguridad para el transporte de mercancías peligrosas por carretera, por ferrocarril o por vía aérea.
- Real Decreto 1078/93, de 2 de julio. Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos. BOE de 9 de septiembre. Rectificaciones en el BOE de 19 de noviembre de 1993.

Actualizado por:

Orden de 20 de febrero de 1995. BOE de 23 de febrero de 1995. Rectificaciones en el BOE de 5 de abril de 1995.

Modificado por:

Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo. BOE de 5 de junio de 1995.

Real Decreto 1425/1998, de 3 de julio. BOE de 4 de julio de 1998.

- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo. Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Deroga el Real Decreto 2116/1985. BOE de 5 de junio de 1995.

Modificado por:

Orden de 13 de septiembre de 1995. BOE de 19 de septiembre de 1995. Anexo I.

Orden de 21 de febrero de 1997. BOE de 10 de marzo de 1997. Anexo I.

Real Decreto 700/1998, de 24 de abril. BOE de 8 de mayo de 1998.

Orden de 30 de junio de 1998. BOE de 6 de julio de 1998.

Orden de 11 de septiembre de 1998. BOE de 17 de septiembre de 1998.

- Orden de 27 de junio de 1994. Regula el procedimiento de actuación del "Departament d'Indústria y Energia" en el almacenamiento de productos químicos. DOGC de 8 de julio. Rectificaciones en el DOGC de 28 de noviembre de 1994.

8.3.1. AGENTES QUÍMICOS, FÍSICOS Y BIOLÓGICOS

- Directiva 80/1107/CEE, de 27 de noviembre, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos, físicos y biológicos durante el trabajo. DOCE L de 3 de diciembre de 1980.

Modificada por:

Directiva 88/642/CEE, de 16 de diciembre. DOCE de 24 de diciembre de 1988.

Directiva 91/322/CEE, de 29 de mayo. DOCE L de 5 de julio de 1991.

Directiva 96/94/CE, de 18 de diciembre. DOCE L de 28 de diciembre de 1996.

8.3.2. AGENTES BIOLÓGICOS

- Directiva 90/220/CEE, de 23 de abril, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente (OMG). DOCE L de 8 de mayo de 1990.

Adaptada por:

Directiva 94/15/CE, de 15 de abril. DOCE L de 22 de abril de 1994.

Directiva 97/35/CE, de 18 de junio. DOCE L de 27 de junio de 1997.

Completada por:

Decisión 93/584/CEE, de 22 de octubre. DOCE L de 12 de noviembre de 1993

Decisión 94/730/CEE, de 4 de noviembre. DOCE L de 12 de noviembre de 1994.

- Directiva 90/679/CEE, de 26 de noviembre, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo (séptima directiva específica de acuerdo con el apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). DOCE L de 31 de diciembre de 1990.

Modificada por:

Directiva 93/88/CEE, de 12 de octubre. DOCE L de 29 de octubre de 1993.

Directiva 95/30/CEE, de 30 de junio DOCE L de 6 de julio de 1995.

- Ley 15/1994, de 3 de junio, por la que se establece el régimen jurídico de la utilización confinada, la liberación voluntaria y la comercialización de organismos modificados genéticamente, a fin de prever los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. BOE de 4 de junio de 1994.

Completada por:

Real Decreto 951/1997, de 20 de junio. BOE de 24 de junio de 1997.

- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. BOE de 24 de mayo de 1997.

Adaptado por:

Orden de 25 de marzo de 1998. BOE de 30 de marzo de 1998.

8.3.3. AGENTES CANCERÍGENOS

- Directiva 90/394/CEE, de 28 de junio, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo (sexta directiva específica de acuerdo con el apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). DOCE L de 26 de julio de 1990.
- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. BOE de 24 de mayo de 1997.

8.3.4. PLOMO

- Directiva 82/605/CEE, de 28 de julio, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al plomo y sus compuestos iónicos durante el trabajo (primera directiva particular de acuerdo con el artículo 8 de la Directiva 80/1107/CEE). DOCE L de 23 de agosto de 1982.

- Orden de 9 de abril de 1986. Reglamento para la prevención de riesgos y la protección de la salud de los trabajadores por la presencia metálica de plomo y sus compuestos iónicos en el ambiente de trabajo. BOE de 24 de abril de 1986. Rectificaciones en el BOE de 3 de junio de 1986.

8.3.5. AMIANTO

- Convenio OIT, núm. 162, de 24 de junio de 1986, sobre utilización del asbesto en condiciones de seguridad (ratificado por Instrumento de 17 de julio de 1990- BOE de 23 de noviembre de 1990, RCL 1990, 2435. Rectificaciones en el BOE de 8 de marzo de 1991).
- Orden de 21 de julio de 1982. Condiciones de trabajo en la manipulación del amianto. BOE d'11 de agosto de 1982. Rectificaciones en el BOE de 4 de octubre de 1982.
Desarrollada por:
Resolución de 30 de septiembre de 1982. BOE de 18 de octubre de 1982.
- Orden de 31 de octubre de 1984. Reglamento sobre trabajo con riesgo de amianto. BOE de 7 de noviembre de 1984.
Modificada por:
Orden de 26 de julio de 1993. BOE de 5 de agosto de 1993.
Completada por:
Orden de 7 de enero de 1987. BOE de 15 de enero de 1987.
Orden de 22 de diciembre de 1987. BOE de 29 de diciembre de 1987.
- Orden de 30 de junio de 1987. Ambiente laboral y vigilancia médica en empresas con riesgo de amianto. DOGC de 10 de julio de 1987. Rectificaciones en el DOGC de 7 de octubre de 1987.

8.3.6. CLORURO DE VINILO

- Directiva 78/610/CEE de 29 de junio, referente a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los estados miembros, relativas a la protección sanitaria de los trabajadores expuestos al cloruro de vinilo monómero. DOCE L de 22 de septiembre de 1978.
- Orden de 9 de abril de 1986. Reglamento para la prevención de riesgos y la protección de la salud de los trabajadores por la presencia de cloruro de vinilo monómero en el ambiente de trabajo. BOE de 6 de mayo de 1986.

8.3.7. BENCENO

- Convenio OIT, núm. 136, de 23 de junio de 1971, sobre protección contra los riesgos de intoxicación por benceno (ratificado por Instrumento de 31 de marzo de 1973- BOE de 5 de febrero de 1975).
- Orden de 14 de septiembre de 1959. Fabricación y utilización de productos que contengan benceno. BOE de 18 de septiembre de 1959.
Actualizada por:
Resolución de 15 de febrero de 1977. BOE de 11 de marzo de 1959.
- Resolución de 15 de febrero de 1977. Actualiza las instrucciones complementarias del orden de 14 de septiembre de 1959. BOE de 11 de marzo de 1959.

8.3.8. PCB Y PCT

- Orden de 9 de septiembre de 1986. Limitación del uso de los policlorobifenilos (PCB) y los policloroterfenilos (PCT). DOGC de 24 de octubre de 1986.

8.3.9. RADIACIONES IONIZANTES (PROTECCIÓN RADIOLÓGICA)

- Directiva 92/3/EURATOM, relativa a la vigilancia y al control de los traslados de residuos radiactivos entre estados miembros o procedentes o con destino al exterior de la Comunidad.
- Directiva 96/29/EMATOM, de 13 de mayo, por la que se establecen las Normas básicas relativas a la protección sanitaria de la población y los trabajadores contra los peligros que resulten de las radiaciones ionizantes. DOCE L de 29 de julio de 1996.
- Ley 25/1964, de 29 de abril, reguladora de la energía nuclear. BOE de 4 de mayo de 1964. Rectificaciones en el BOE de 6 de junio de 1964.
Modificada parcialmente por:
Ley 40/1994, de 30 de diciembre de 1994. BOE de 31 de diciembre de 1994.
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radioactivas.
- Real Decreto 53/1992, de 24 de enero. BOE de 12 de febrero de 1992. Reglamento sobre protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes.
Rectificaciones en el BOE de 15 de abril de 1992.
- Ley 15/1980, de 22 de abril de 1980, sobre creación del Consejo de Seguridad Nuclear. BOE de 25 de abril de 1980.

8.3.10. RUIDO

- Directiva 86/188/CEE, de 12 de mayo, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. DOCE L de 24 de mayo de 1986.
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre. Protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. BOE de 2 de noviembre de 1989. Rectificaciones en el BOE de 9 de diciembre de 1989, y en el BOE de 26 de mayo de 1990.
- Resolución de 30 de octubre de 1995. Aprueba una ordenanza municipal tipo, reguladora del ruido y de las vibraciones. DOGC 10 de noviembre de 1995.

8.4. LEGISLACIÓN GENERAL SOBRE MEDIO AMBIENTE

Legislación europea

- Directiva marco 75/442/CEE, de 15 de julio, relativa a la gestión de los residuos en general. DOCE L de 25 de julio de 1975.
modificada por:
Directiva Marco 91/156/CEE, de 18 de marzo. DOCE L de 26 de marzo de 1991.
completada por:
Decisión 76/431/CEE, de 21 de abril. DOCE L de 1 de mayo de 1976.
Directiva 91/689/CEE, de 12 de diciembre. DOCE L de 31 de diciembre de 1991.

Decisión 94/3/CEE, de 20 de diciembre de 1993. DOCE I de 7 de enero de 1994.
 Decisión 94/904/CEE, de 22 de diciembre. DOCE L de 31 de diciembre de 1994.
 Decisión 96/302/CEE, de 17 de abril. DOCE L de 11 de mayo de 1996.
 Decisión de 24 de mayo. DOCE L de 6 de junio de 1996.

- Directiva 76/464/CEE, de 4 de mayo, relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas al medio acuático de la Comunidad. DOCE L de 18 de mayo de 1976.

Completada por:

Directiva 86/280/CEE, de 12 de junio. DOCE L de 4 de julio de 1986.
 Rectificaciones a los DOCE L de 15 de julio de 1986, de 1 de agosto de 1986 y de 7 de agosto de 1986.

Modificada por:

Directiva 88/347/CEE, de 24 de septiembre. DOCE L de 25 de junio de 1988.
 Directiva 90/415/CEE, de 27 de julio. DOCE L de 14 de agosto de 1990.
 Directiva 91/692/CEE, de 23 de diciembre. DOCE L de 31 de diciembre de 1991.

- Resolución 90/C122/02, de 7 de mayo, sobre política en materia de residuos. DOCE C de 18 de mayo de 1990.
- Directiva 94/62/CEE, de 20 de diciembre, relativa a los envases y a los residuos de envases. DOCE L de 31 de diciembre de 1994.

Completada por:

Decisión de 28 de enero de 1997. DOCE L de 20 de febrero de 1997.
 Decisión de 3 de febrero de 1997. DOCE L de 22 de febrero de 1997.
 Decisión de 8 de febrero de 1999. DOCE L 4 de marzo de 1999.

- Directiva 96/61/CEE, de 24 de septiembre, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. DOCE L de 10 de octubre de 1996.

Legislación española

- Orden de 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación atmosférica de origen industrial. BOE de 3 de diciembre de 1976. Rectificaciones en el BOE de 23 de febrero de 1977.

Modificado

Orden de 25 de febrero de 1980. BOE de 24 de marzo de 1980.

- Ley 29/1985, de 2 de agosto. Ley de regulación de aguas. BOE de 8 de agosto de 1985. Rectificaciones en el BOE de 10 de octubre de 1985.

Actualizada por:

Real Decreto 419/1993, de 26 de marzo. BOE de 14 de abril de 1993.

Modificada por:

Real Decreto 2473/1985, de 27 de diciembre de 1985. BOE de 2 de enero de 1986. Rectificaciones en el BOE de 4 de febrero de 1986.

Ley 42/1994, de 30 de diciembre. BOE de 31 de diciembre de 1994.
 Rectificaciones en el BOE de 16 de febrero de 1995.

Ley 13/1996, de 30 de diciembre. BOE de 31 de diciembre de 1996.

- Orden de 12 de noviembre de 1987. Normas sobre emisión, objetivos de calidad y métodos de medida de referencia, relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales. BOE de 23 de noviembre de 1987. Rectificaciones en el BOE de 18 de abril de 1988.

Completada por:

Orden de 13 de marzo de 1989. BOE de 20 de marzo de 1989.
 Orden de 27 de febrero de 1991. BOE de 2 de marzo de 1991.
 Orden de 9 de mayo de 1991. BOE de 15 de mayo de 1991.
 Orden de 28 de junio de 1991. BOE de 8 de julio de 1991.
 Orden de 25 de mayo de 1992. BOE de 29 de mayo de 1992.

- Real Decreto legislativo 1302/1986, de 28 de junio. Evaluación de impacto ambiental. BOE de 30 de junio de 1986.
Completado por:
Real Decreto 1131/1988, de 26 de marzo. BOE de 5 de octubre de 1988.
- Real Decreto 484/1995, de 7 de abril. Medidas de regulación y control de vertidos. BOE de 21 de abril de 1995. Rectificaciones en el BOE de 13 de mayo de 1995.
- Ley 11/1997, de 24 de abril. Ley de envases y residuos de envases. BOE 25 de abril de 1997.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos. BOE núm. 96, de 22 de abril.

Legislación catalana

- Decreto 64/1982, de 9 de marzo, por el que se aprueba la reglamentación parcial del tratamiento de desechos y residuos. DOGC de 21 de abril de 1982.
- Decreto 114/1988, de 7 de abril, de evaluación de impacto ambiental. DOGC de 3 de junio de 1988.
- Ley 6/1993, de 15 de julio. Ley reguladora de los residuos. DOGC de 28 de julio de 1993.
- Decreto 230/1993, de 6 de septiembre, sobre el ejercicio de las funciones de inspección y control en el ámbito de protección del medio ambiente. DOGC de 8 de octubre de 1993. Rectificaciones en el DOGC de 13 de julio de 1994.
Modificado por:
Decreto 158/1994, de 30 de mayo. DOGC de 13 de julio de 1994.
- Decreto 323/1994, de 4 de noviembre, por el que se regulan las instalaciones de incineración de residuos y los límites de sus emisiones a la atmósfera. DOGC de 16 de diciembre de 1994.
- Orden de 1 de junio de 1995, sobre acreditación de laboratorios para la determinación de las características de los residuos. DOGC de 30 de junio de 1995.
- Resolución de 16 de octubre de 1995, por la que se hace público el Acuerdo de gobierno de aprobación del Programa general de residuos de Cataluña. DOGC de 6 de noviembre de 1995.
- Decreto 34/1996, de 9 de enero, por el que se aprueba el catálogo de residuos de Cataluña. DOGC de 9 de febrero de 1996.
- Decreto 1/1997, de 7 de enero, sobre la disposición del rechazo de los residuos en depósitos controlados. DOGC de 13 de enero de 1997.
- Resolución de 13 de mayo de 1998, por la que se da publicidad a la aprobación del Programa de gestión de los residuos de envases de Cataluña, adoptado por el Consejo de Dirección de la Junta de Residuos. DOGC de 2 de julio de 1998.
- Decreto 93/199, de 6 de abril, sobre procedimientos de gestión de residuos. DOGC de 12 de abril de 1999.

8.4.1. LEGISLACIÓN SOBRE RESIDUOS ESPECÍFICOS

8.4.1.1. RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS

- Directiva 91/689/CEE, de 12 de diciembre, relativa a los residuos peligrosos. DOCE L de 31 de diciembre de 1991.
Completada por:
Decisión 94/904/CEE, de 22 de diciembre. DOCE L de 31 de diciembre de 1994.
Decisión 96/302/CEE, de 17 de abril. DOCE L d'11 de mayo de 1996.
Modificada por:
Directiva 94/31/CEE, de 27 de junio. DOCE L de 2 de julio de 1994.

- Directiva 94/67/CEE, de 16 de diciembre, relativa a la incineración de residuos peligrosos. DOCE L de 31 de diciembre de 1994.
- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986. BOE de 30 de julio de 1988.
Modificado por:
 - Real Decreto 1771/1994, de 5 de agosto. BOE de 19 de agosto de 1994.
 - Real Decreto 952/1997, de 20 de junio. BOE de 5 de julio de 1997.
- Orden de 13 de octubre de 1989. Determina los métodos de caracterización de los residuos tóxicos y peligrosos. BOE de 10 de noviembre de 1989.
- Real Decreto 1217/1997, de 18 de julio. Incineración de residuos peligrosos. BOE de 8 de agosto de 1997.
- Orden de 14 de junio de 1984, por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo Ejecutivo de 24 de marzo de 1984, que aprueba la planificación de la gestión de residuos industriales. DOGC de 19 de junio de 1984.
- Orden de 31 de octubre de 1984 sobre las directrices aprobadas para la gestión de residuos industriales. DOGC de 28 de noviembre de 1984.
- Ley 2/1991, de 18 de marzo, de medidas urgentes para la reducción y la gestión de los residuos industriales. DOGC de 27 de marzo de 1991.
- Decreto legislativo 2/1991, de 26 de septiembre, por el que se aprueban los textos legales vigentes refundidos en materia de residuos industriales. DOGC de 27 de septiembre de 1991.
Modificado por:
 - Ley 6/1993, de 15 de julio. DOGC de 28 de julio de 1993.
- Decreto 327/1993, de 9 de diciembre, de organización y funcionamiento del Consejo Asesor de la gestión de los residuos industriales de Catalunya. DOGC de 26 de enero de 1994.
- Decreto 115/1994, de 6 de abril, regulador del Registro general de gestores de residuos de Cataluña. DOGC de 3 de junio de 1994.

Amianto

- Directiva 87/217/CEE, de 19 de marzo, sobre la prevención y la reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto. DOCE L de 28 de marzo de 1987.
- Real Decreto 108/1991, de 1 de febrero de 1991, sobre la prevención y la reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto. BOE de 6 de febrero de 1991.

Cadmio

- Directiva 83/513/CEE, de 26 de septiembre, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de cadmio. DOCE L de 24 de octubre de 1983.
Modificada por:
 - Directiva 91/692/CEE, de 23 de diciembre. DOCE L de 31 de diciembre de 1991.

Cloruros alcalinos

- Directiva 84/156/CEE, de 8 de marzo, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad por los vertidos de mercurio de los sectores diferentes de la electrólisis de los cloruros alcalinos. DOCE L de 17 de marzo de 1984.
Modificada por:
 - Directiva 91/692/CEE, de 23 de diciembre. DOCE L de 31 de diciembre de 1991.

Hexaclorociclohexano

- Directiva 84/491/CEE, de 9 de octubre, relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de hexaclorociclohexano. DOCE L de 17 de octubre de 1984.
Modificada por:
Directiva 91/692/CEE, de 23 de diciembre. DOCE L de 31 de diciembre de 1991.
- Orden de 27 de febrero de 1991, por la que se modifica el anexo V de la Orden de 12 de noviembre de 1987, relativa a normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medida de referencia, para vertidos de determinadas sustancias peligrosas, en especial los correspondientes al hexaclorociclohexano. BOE de 2 de marzo de 1991.

Policlorobifenilos (PCB) y policloroterfenilos (PCT)

- Directiva 76/403/CEE, de 6 de abril, relativa a la gestión de policlorobifenilos y policloroterfenilos. DOCE L de 26 de abril de 1976.
- Directiva 96/39/CE, de 16 de septiembre, relativa a la eliminación de policlorobifenilos y policloroterfenilos. DOCE L de 24 septiembre de 1996.
- Orden de 14 de abril de 1989, por la que es regula la gestión de policlorobifenilos y policloroterfenilos. BOE de 29 de abril de 1989.
- Orden de 9 de septiembre de 1986, de limitación del uso de los policlorobifenilos (PCB) y los policloroterfenilos (PCT). DOGC de 24 de octubre de 1986.

Aceites usados

- Directiva 75/439/CEE, de 16 de junio, relativa a la gestión de los aceites usados. DOCE L de 25 de julio de 1975.
Modificada por:
Directiva 87/101/CEE, de 22 de diciembre. DOCE L de 12 de febrero de 1987.
- Orden de 28 de febrero de 1989, por la que se regula la gestión de aceites usados. BOE de 8 de marzo de 1989.
Modificada por:
Orden de 13 de junio de 1990. BOE de 26 de junio de 1990.
- Orden de 6 de septiembre de 1988, sobre prescripciones en el tratamiento y la eliminación de los aceites usados. DOGC de 14 de octubre de 1988.

Pilas y acumuladores

- Directiva 91/157/CEE, de 18 de marzo, relativa a las pilas y a los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas. DOCE L de 26 de marzo de 1991.
Adaptada por:
Directiva 93/86/CEE, de 4 de octubre. DOCE L de 23 de octubre de 1993.
Directiva 98/101/CE, de 22 de diciembre. DOCE L de 5 de enero de 1999.

8.4.1.2. RESIDUOS SANITARIOS Y ANATÓMICOS

- Decreto 2263/1974, de 20 de julio. Reglamento de policía sanitaria mortuoria. BOE de 17 de agosto de 1974.
- Decreto 27/1999, de 9 de febrero, de la gestión de los residuos sanitarios. DOGC de 16 de febrero de 1999.

8.4.1.3. *RESIDUOS RADIATIVOS*

- Real Decreto 1522/1984, de 4 de julio, por el que se autoriza la constitución de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, SA (ENRESA). BOE de 22 de agosto de 1984.